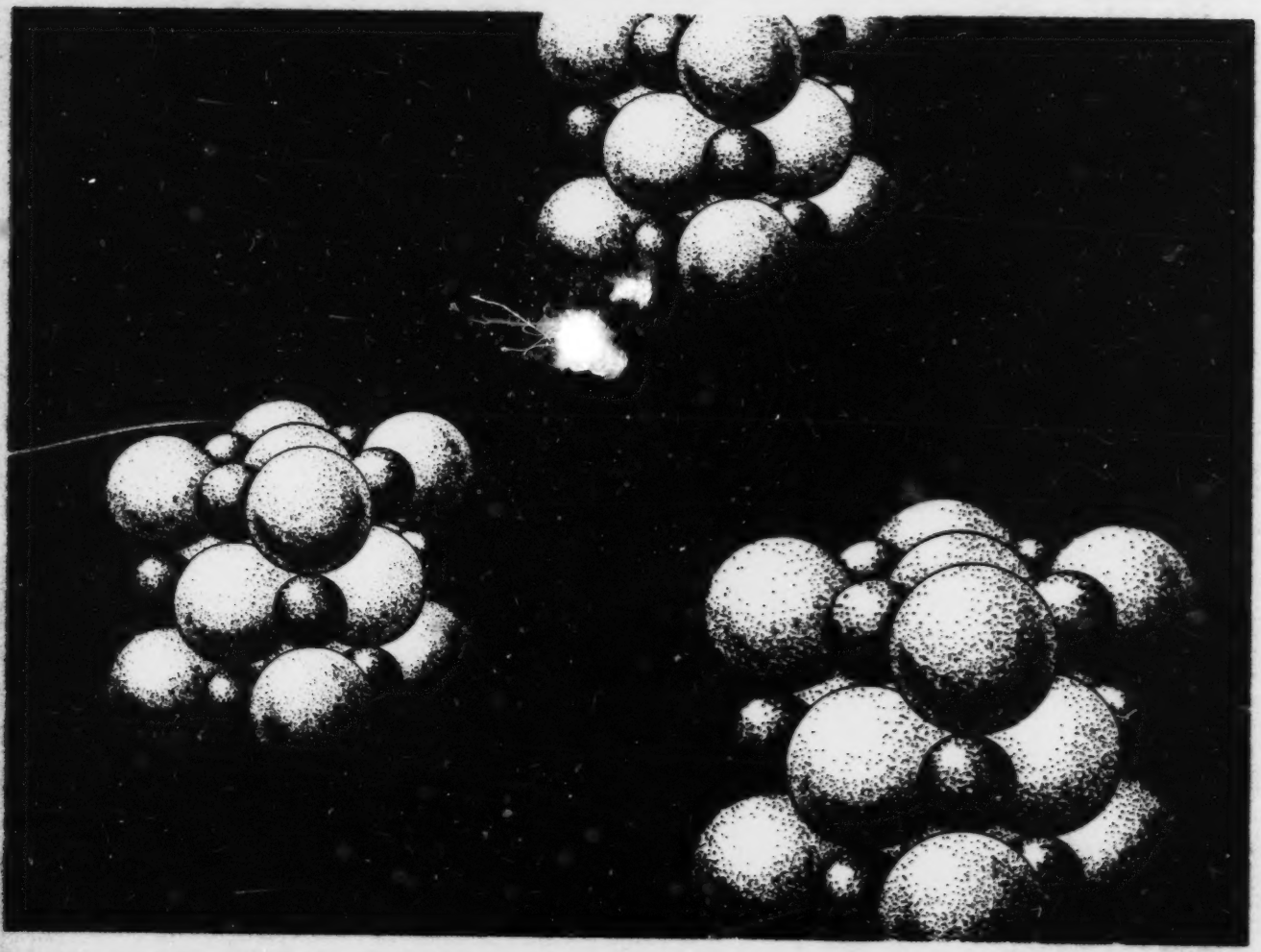

-6692/

Gouvernement du Québec
Ministère des transports
Service de l'environnement

MODÈLE DE CALCUL DE LA CONCENTRATION DE CHLORURES DANS LES LACS SITUÉS EN BORDURE DES ROUTES

OCTOBRE 1983

Cette étude a été exécutée par le personnel du Service de l'environnement du ministère des Transports du Québec, sous la responsabilité de monsieur Daniel Waltz, écologiste.

Mozher Sorial	ing.-chimiste, chargé de projet
Pierre Gamache	biologiste, rédacteur

Sous la responsabilité de:

Yves Ste-Marie	physicien, chef de la Division du contrôle de la pollution et recherches

Sont remerciés pour leur collaboration:

Marie-Josée Auclair	biologiste
Kathleen Carrière	biologiste
Micheline Lapointe	tech. en eau et assainissement
Daniel Legault	tech. en eau et assainissement

Graphisme et édition:

Hrant Khandjian	tech. en arts appliqués et graphiques

TABLE DES MATIERES

EQUIPE DE TRAVAIL i

LISTE DES TABLEAUX v

LISTE DES FIGURES vii

PREFACE 1

INTRODUCTION 4

1. PROBLEMATIQUE 5

2. PROGRAMME - ETE 1980 7

3. ECHANTILLONNAGE DES LACS 8

3.1 Période d'échantillonnage 8

3.2 Méthode d'échantillonnage 8

3.3 Stations d'échantillonnage 8

3.4 Méthodes d'analyse de l'eau 9

4. VERIFICATION DES RESULTATS D'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DES LACS 10

4.1 Tests à l'aide du bilan ionique et de la conductivité 10

4.1.1 Test à l'aide du bilan ionique 10
4.1.2 Test à l'aide de la conductivité 11

4.2 Résultats des tests de bilan ionique et de conductivité 13

5. RESULTATS D'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU 14

5.1 Traitement statistique des données 14

5.2 Interprétation des résultats d'analyses de l'eau 14

6. EVALUATION DE LA CONCENTRATION D'EQUILIBRE EN CHLORURE DES LACS 15

6.1 Concept de concentration d'équilibre 15

6.2 Développement d'un modèle de calcul pour évaluer la concentration d'équilibre des chlorures dans un lac 16

6.2.1 Modèle de calcul de la concentration d'équilibre 16
6.2.2 Calcul du débit de l'émissaire et de la quantité de chlorures parvenant du lac 18

6.2.2.1 Débit de l'émissaire 18
6.2.2.2 Quantité de chlorures parvenant du lac 18

6.3 Temps requis pour atteindre une concentration d'équilibre 23

6.3.1 Calcul du temps de réponse d'un lac 23
6.3.2 Erreur relative maximale sur les valeurs du temps de réponse 25

6.4 Valeurs des concentrations d'équilibre et du temps de réponse des lacs 27

6.4.1 Concentration d'équilibre calculée pour 26 des 40 lacs échantillonnés au cours de la période estivale de 1980 27

6.4.2 Valeurs du temps de réponse des 26 lacs étudiés 33

RECOMMANDATIONS 38

CONCLUSION 37

BIBLIOGRAPHIE 39

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Facteurs de conversion utilisés pour le calcul du bilan ionique de la conductivité. 12

Tableau 2 : Concentration d'équilibre en chlorures des lacs lorsque 75% et 100% de la quantité de chlorures épandue sur la route parvient au lac (mg/l). 28

Tableau 3 : Temps de réponse des 26 lacs étudiés. 34

Tableau 4 : Concentration de chlorures observées au lac Orford depuis 1974. 36

ANNEXE 1

Tableau 5 : Localisation des lacs échantillonnés en 1980

Tableau 6 : Données physico-chimiques des lacs échantillonnés en 1980 en surface et au fond (valeurs en mg/l).

Tableau 7 : Données physico-chimiques des lacs échantillonnés en 1980 en surface et au fond (valeurs en meq/l).

Tableau 8 : Valeurs de déséquilibre ionique (DI) et de l'écart de conductivité (EC).

ANNEXE 2

Tableau 9 : Coefficient de corrélation de Pearson obtenus entre les différents paramètres étudiés et significatifs à p 0,01 (concentration des ions exprimés en meq/1).

Tableau 10 : Valeurs des rapports entre le sodium, le magnésium, le potassium et le calcium (valeurs des cations exprimées en mg/1) à la surface du lac.

ANNEXE 3

Annexe 11 : Quantité de sel épandue sur les routes situées aux abords des lacs et quantité de chlorures en provenance d'un autre lac.

Annexe 12 : Données morphométriques nécessaires pour le calcul de la concentration d'équilibre et du temps de réponse.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Débits spécifiques (m^3/sec par km^2), année hydrologique 1962-1963 et 1975-1976 19

Figure 2 : Comportement d'un lac pour atteindre différentes concentrations d'équilibre 26

Figure 3 : Histogramme de fréquence des différences en pourcentage entre les concentrations calculées et mesurées 32

ANNEXE 2

Figure 4 : Graphique de la conductivité (s/cm) en fonction de la concentration de sodium (meq/1)

Figure 5 : Graphique de la conductivité (s/cm) en fonction de la concentration de chlorures (meq/1)

Figure 6 : Graphique de la conductivité (s/cm) en fonction de la concentration de calcium (meq/1)

Figure 7 : Graphique de la conductivité (s/cm) en fonction de la concentration de magnésium (meq/1)

Figure 8 : Graphique de la concentration de chlorures (mel/l) en fonction de la concentration de sodium (meq/l)

Figure 9 : Graphique de la concentration de sodium (mg/l) en fonction du rapport sodium (mg/l)/ calcium (mg/l)

Figure 10 : Graphique de la concentration de chlorures (mg/l) en fonction du rapport sodium (mg/l)/ calcium (mg/l)

PREFACE

Rappelons brièvement que le Service de l'environnement du ministère des Transports du Québec a pris naissance sous diverses formes, il y a de cela plus de 10 ans, afin de répondre aux préoccupations de plus en plus marquées de notre société, face à la protection du milieu et à l'amélioration de la qualité de vie, impliquant une prise de conscience écologique de l'environnement par les citoyens, ce qui se réflétait, bien entendu, au niveau de l'administration gouvernementale.

Notre Service doit, cependant, faire face à des problèmes de nature très particulière, présentant des complexités d'interrelations redoutables et souvent difficiles à cerner tant au niveau analytique que systémique. En effet, nous touchons, par sa nature et sa fonction, à un système linéaire complexe intégré (réseau routier), "appliqué" nécessairement sur des écosystèmes extrêmement variés et de nature parfois opposée (milieu urbain, périurbain, rural, naturel). Les réponses (répercussions environnementales) du milieu aux actions humaines (projets d'infrastructures) sont extrêmement variables, compte tenu de l'interrelation des paramètres (facteurs du milieu), de la nature, de l'intensité et de la durée de l'impact, mais aussi de son étendue en valeur relative comme absolue, et ce, en prenant en considération, en outre, la sensibilité, la vulnérabilité ou la résistance du milieu.

Or, un des impacts les plus fréquemment observés, lors de nos interventions, se situe au niveau des plans d'eau où les risques de pollution par les "déglaçants", sont souvent notamment, avancés. Il était donc indispensable de créer des outils suffisamment sûrs et assez élaborés pour répondre à de telles questions avec précision et sécurité, afin de pouvoir en introduire les résultats dans nos études sur les répercussions environnementales intégrées.

Tel est l'objet de ce rapport et comme nous croyons que les auteurs ont fort bien répondu à notre attente, nous tenons à les féliciter pour leurs efforts de plus d'un an de travaux de recherche, d'échantillonnage, d'analyse et de traitement des données sur la contamination des lacs par les sels de déglaçage.

Le chargé de projet, monsieur Mozher Sorial, est ingénieur-chimiste et titulaire d'une maîtrise en génie de l'environnement; il est actuellement chef de la Division du contrôle de la pollution et recherches" au Service de l'environnement. Quant à monsieur Pierre Gamache, biologiste et monsieur Yves Ste-Marie, physicien, ils possèdent une maîtrise en sciences de l'environnement.

Ces trois auteurs ont accumulé, en outre, une solide expérience en "Environnement-Transport" au sein du Service que j'ai l'honneur de diriger depuis sa création. Comme ils le font remarquer, les travaux entrepris "nous ont permis d'arriver à plusieurs conclusions intéressantes dont, entre autres, que le modèle de concentration d'équilibre pouvait s'appliquer aux lacs du Québec".

"Ce modèle, qui n'est autre que la solution d'une équation différentielle du premier degré, surprend par sa simplicité et sa fiabilité. Celui-ci permettra à notre Service de prédire la concentration maximale de chlorure que l'on est exposé à retrouver dans un lac si l'on maintient ou s'il y a variation du taux d'épandage des sels de déglaçage sur une route. De même, il pourra servir de base comparative entre deux projets routiers pouvant altérer la qualité physico-chimique de l'eau d'un lac. De plus, ce modèle nous permettra d'identifier les tronçons de routes ou d'autoroutes sur lesquels on peut poursuivre les épandages de déglaçants sans trop de risques de contamination des eaux d'un lac, ce qui évitera de compromettre indûment la sécurité d'une route par un arrêt injustifié des épandages de sels".

Nous croyons que ce travail pourrait être utile non seulement aux diverses unités de travail au sein de notre Ministère, mais aussi à d'autres spécialistes de l'extérieur du Ministère (Hydro-Québec, S.D.B.J., universités, etc.). C'est pourquoi, en recommandons-nous une diffusion aussi large que possible comme élément supplémentaire de la contribution du Ministère à l'amélioration de la qualité de vie de nos concitoyens.

Le chef du Service de l'environnement,

Daniel Waltz, écologiste
Ministère des Transports

INTRODUCTION

Dans le but de rendre la chaussée praticable pour les automobilistes durant la période hivernale, des quantités importantes de déglaçants (NaCl) sont épandus sur les routes du Québec. Au printemps, l'eau provenant de la fonte de la neige accumulée en bordure des routes contient une quantité appréciable de chlorures et peut parvenir aux lacs avoisinants altérant alors la qualité physico-chimique de leurs eaux.

C'est parce que des problèmes reliés à la pollution de l'eau par les chlorures se sont présentés au lac à la Truite, à Sainte-Agathe-Sud, que le Service de l'environnement du ministère des Transports du Québec a mis de l'avant un projet d'étude sur l'accumulation des chlorures dans les lacs. En effet, le bassin hydrographique du lac à la Truite draine une section importante (3,1 km) de l'autoroute 15 à Sainte-Agathe-Sud et depuis la construction de cette artère en 1972, une augmentation importante de la concentration de chlorures a été observée dans l'eau. Le lac constitue une source d'eau potable pour la municipalité de Sainte-Agathe-Sud et dès 1977, le ministère des Transports du Québec recevait des plaintes au sujet de la qualité de cette eau. Pour résoudre ce problème, l'épandage de sel sur l'autoroute 15 fut réduit depuis 1978. Afin de maintenir la chaussée sécuritaire, l'Office des Autoroutes du Québec utilisait une balayeuse mécanique du même type que celle utilisée dans les aéroports.

Pour développer un modèle permettant d'évaluer la concentration de chlorures dans les lacs situés en bordure des routes, nous avons poursuivi, au cours de la période estivale de 1980, le programme d'échantillonnage des lacs entrepris en 1979.

Le présent rapport présente les résultats de l'analyse physico-chimique des lacs échantillonnés en 1980 et décrit l'approche utilisée pour développer le modèle de calcul de la concentration de chlorures dans les lacs.

1. PROBLEMATIQUE

L'objectif premier de l'étude sur l'accumulation des chlorures dans les lacs s'oriente vers la mise au point d'un modèle qui nous permettra de prédire la concentration de chlorures dans les lacs, et ce, en fonction de l'apport de ces produits et le temps requis pour atteindre cette concentration. Ce modèle nous permettra d'évaluer la quantité de sel à épandre sur une route située en bordure d'un lac pour ne pas altérer la qualité physico-chimique de l'eau de façon significative. Il servira aussi dans le choix de tracés de moindre impact sur la qualité physico-chimique de l'eau dans les nouveaux projets de construction de routes.

Afin de prédire la concentration de chlorures dans un lac et le temps requis pour parvenir à cette concentration, un certain nombre de paramètres doivent être considérés. Ce sont: la nature du sol, la distance entre la route et le lac, la quantité de sel épandu sur la route, le pourcentage de sel qui parvient au lac, le volume du lac et le débit de son émissaire. A l'heure actuelle peu d'études ont porté sur l'utilisation de modèles servant à estimer la concentration de chlorures dans les lacs situés en bordure des routes. Aux Etats-Unis, le "Federal Highway Administration" (1977) a développé un modèle de prédiction de la concentration de chlorures dans les lacs. Selon ce modèle, il y aurait toujours une augmentation de la concentration de chlorures dans les lacs d'années en années sans qu'un maximum soit atteint. L'analyse des données recueillies en 1979 nous a démontré l'inexactitude de l'hypothèse du "Federal Highway Administration" puisque les concentrations calculées de cette façon étaient constamment supérieures à celles obtenues lors des analyses chimiques et que l'écart était toujours plus grand avec la croissance du nombre des années de salage. Alors, nous avons cru plus réaliste de simuler l'addition du sel dans un lac à un réacteur chimique du type "mélange parfait". Selon cette hypothèse, la concentration de chlorures dans un lac croîtra jusqu'à ce que la quantité de sel entrant dans le lac soit égale à celle qui en sort; à ce moment une concentration d'équilibre est atteinte.

C'est à partir de ce principe que nous avons developpé un modèle de prévision pour la concentration de chlorures dans les lacs. Afin de développer un tel modèle on doit connaître de façon la plus précise possible, les paramètres influençant l'accumulation des chlorures dans les lacs. Le paramètre le plus difficile à évaluer et qui joue le rôle le plus important sur la concentration est le pourcentage de chlorures épandus sur la route qui parvient au lac. Le "Federal Highway Administration" (1977) mentionne que celui-ci est de près de 75%. De leur part, le volume du lac, le débit de l'émissaire et la quantité de sel épandu sur la route peuvent être évalués avec un pourcentage d'erreur relativement faible.

2. PROGRAMME- ETE 1980

Afin de prédire la concentration d'équilibre de chlorures dans un lac ainsi que le nombre d'années requis pour que cette concentration soit atteinte, on doit connaître la quantité de sel épandu sur la route ainsi que les caractéristiques physico-chimiques et morphométriques du lac à l'étude.

Nous avons sélectionné quarante lacs en fonction de leur proximité des voies de circulation, de la disponibilité des données morphométriques et physico-chimiques les concernant et des résultats obtenus lors de l'échantillonnage de 1979. Les données morphométriques et physico-chimiques des lacs ont été obtenues à partir des publications du ministère des Richesses naturelles effectuées dans le cadre d'accumuler des inventaires sur la qualité des eaux de surface. Parmi ces quarante lacs, nous en avons choisi six qui ne sont pas affectés par la proximité d'une route importante et qui serviront de lacs témoins dans l'étude physico-chimique des lacs (annexe 1).

Suite aux résultats obtenus lors de l'analyse des données recueillies en 1979, il a été établi que l'analyse physico-chimique des quarante lacs étudiés se ferait sur les paramètres suivants: la température, l'oxygène dissous, le pH, la conductivité, le calcium, le magnésium, le potassium, le sodium, l'alcalinité, les sulfates, les chlorures, la turbidité et la transparence au disque de Secchi. L'étude des cations et anions majeurs permettra de voir si l'augmentation des chlorures et du sodium en provenance de la route entraîne une augmentation d'autres ions dans les lacs.

Pour développer un modèle de calcul de la concentration d'équilibre, il est nécessaire de connaître plusieurs données morphométriques du lac soit: le volume, la superficie, le module à l'exutoire, et le temps de renouvellement. Les analyses chimiques permettront de voir si les lacs étudiés présentent une concentration d'équilibre ou si la concentration actuelle est inférieure à la concentration prédite à l'aide du modèle, et ce, toujours en fonction de la quantité actuelle de sel répandu sur la route.

3. ECHANTILLONNAGE DES LACS

3.1 PERIODE D'ECHANTILLONNAGE

L'échantillonnage des lacs a eu lieu durant la période du 9 juin au 10 septembre 1980.

3.2 METHODE D'ECHANTILLONNAGE

Les échantillons d'eau ont été prélevés à l'aide d'un échantillonneur Kemmerer d'un litre. Pour chaque lac au point le plus profond, la courbe de température fut établie afin de prélever des échantillons d'eau au niveau de l'épilimnion, du métalimnion et de l'hypolimnion. La conductivité, l'oxygène dissous et le pH furent mesurés aux profondeurs où l'eau était puisée.

3.3 STATIONS D'ECHANTILLONNAGE

Pour chaque lac à l'étude, à l'exception des lacs témoins, nous avons aussi effectué l'échantillonnage dans les tributaires et l'émissaire et nous avons mesuré la vitesse d'écoulement de ces cours d'eau, et ce, afin d'évaluer l'apport de chlorures provenant de sources autres que la route (lacs en amont et entrepôts de sel).

3.4 METHODES D'ANALYSE DE L'EAU

Les lectures de conductivité, de pH, d'oxygène dissous et de température ont été effectuées sur le terrain à l'aide d'un conductivimètre de marque YSI, d'un pH mètre de marque Digi sense, et d'un oxygène mètre de marque YSI. Les analyses des différents paramètres chimiques ont été réalisées par le laboratoire du ministère de l'Environnement à Laval, selon les méthodes décrites dans Standard Methods (AWWA, APHA, WPCF, 1971).

Les échantillons d'eau servant à l'analyse des métaux étaient préservés en y ajoutant 0,5 ml d'acide nitrique (HNO_3) 8N. Pour l'analyse des sulfates, des chlorures, de l'alcalinité et de la turbidité, aucun préservatif n'était requis.

Les résultats d'analyse de l'eau des lacs échantillonnés en 1980 sont présentés à l'annexe 1 (tableaux 2 et 3).

4. VERIFICATION DES RESULTATS D'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DES LACS

Avant de procéder au traitement statistique des données physico-chimiques obtenues lors de l'analyse des échantillons d'eau recueillis au cours de l'été 1980, nous avons procédé au calcul du bilan ionique et à celui de la conductivité. Ces calculs permettent de mettre en évidence des erreurs d'échantillonnage ou d'analyse pour les sept ions majeurs et la conductivité.

4.1 TESTS A L'AIDE DU BILAN IONIQUE ET DE LA CONDUCTIVITE

4.1.1 TEST A L'AIDE DU BILAN IONIQUE

Ce test a pour but de vérifier la validité des valeurs mesurées pour les principaux ions soit: pour les cations (Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+}, K^{+}) et pour les anions (HCO_3^{-}, SO_4^{--}, Cl^{-}, CO_3^{--}). Il consiste à vérifier si la somme des anions correspond bien à celle des cations lorsque leur concentration respective est exprimée en milliéquivalents.

Les données de HCO_3^{-} n'ayant pas été relevées, celles-ci ont été calculées à partir des mesures d'alcalinité totale. La concentration en HCO_3^{-} exprimée en mg/l, a été obtenue à l'aide de la relation suivante:

$$HCO_3^{-} = \frac{\text{alcalinité totale}}{1 + (2 \times 10\ (pH - 10.25))}$$

Les valeurs de pH mesurées sur place étant le plus souvent inférieures à 8,5 et sachant qu'en présence de telles valeurs la concentration de CO_3^{--} est négligeable, nous n'avons calculé que la concentration en HCO_3^{-}.

La vérification de la validité de la concentration des ions nécessite la transformation des données, exprimées en mg/l, en meq/l en multipliant les valeurs par certains facteurs de conversion (tableau 4).

Après avoir effectué cette transformation nous avons procédé au calcul du déséquilibre ionique à l'aide de la formule suivante (Bobee, 1977):

$$DI = \frac{(\sum Ci - \sum Aj) \times 100}{1/2 (\sum Ci + \sum Aj)}$$

où Ci et Aj sont respectivement les concentrations du cation i et de l'anion j exprimées en milliéquivalents.

4.1.2 TEST A L'AIDE DE LA CONDUCTIVITE

Il s'agit de comparer la conductivité mesurée sur place et celle calculée, à partir des anions et des cations considérées dans le test précédent.

La conductivité de l'eau peut être reconstituée en additionnant la conductivité propre à chacun des ions. Cependant, en raison des interactions, il faut faire intervenir certains facteurs de conversion propres à chacun des ions (tableau 4).

Ainsi, la conductivité peut être calculée par la relation suivante:

$$\sum XiCi + \sum XjAj$$

où: Ci = Concentration du cation i (mg/l)

Aj = Concentration de l'anion j (mg/l)

Xi = Conductivité limite du cation i (μS/cm/mg/l)

Xj = Conductivité limite de l'anion j (μS/cm/mg/l)

TABLEAU 1 - FACTEURS DE CONVERSION UTILISES POUR LE CALCUL DU BILAN IONIQUE ET DE LA CONDUCTIVITE

Ions	Facteur de conversion	*Conductivité ionique équivalente à dilution infinie et à 25°C
	Milliéquivalent/l par mg/l	µS/cm par mg/l
Ca^{++}	0.04990	2.98
Mg^{++}	0.08226	4.35
Na^{+}	0.04350	2.21
K^{+}	0.02557	1.88
HCO_3^{-}	- 0.01639	0.73
SO_4^{--}	- 0.02082	1.67
Cl^{-}	- 0.02821	2.15

* Tiré de Harned and Owen (1958)

On a aussi calculé l'écart en pourcentage (EC) entre la conductivité mesurée et la conductivité calculée, à partir des concentrations des ions majeurs et des conductivités ioniques équivalentes:

$$EC = \frac{\text{(Conductivité calculée - conductivité mesurée)}}{\text{Conductivité mesurée}} \times 100$$

4.2 RESULTATS DES TESTS DE BILAN IONIQUE ET DE CONDUCTIVITE

L'étude simultanée des résultats du test du bilan ionique et du test de conductivité permet de détecter et de corriger éventuellement certaines erreurs d'analyse. Lorsque le déséquilibre ionique et l'écart de conductivité étaient tous deux inférieurs à 25%, les résultats d'analyse étaient retenus pour le traitement des données (tableau 5, annexe 1). Suite à l'examen des valeurs de déséquilibre ionique et de l'écart de conductivité, aucune donnée d'analyse physico-chimique n'a été rejetée.

5. RESULTATS D'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU

5.1 TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES

Le traitement statistique des données de l'eau a été effectué à l'aide du logiciel SPSS (Statistical Package for the Social Science; Nie et al (1975)) sur l'ordinateur du ministère des Transports du Québec.

5.2 INTERPRETATION DES RESULTATS D'ANALYSES DE L'EAU

Afin d'examiner les relations existantes entre les divers paramètres, nous avons procédé au calcul des coefficients de corrélation de Pearson entre chacun d'eux et fait l'étude des rapports entre différents cations (tableau 6, annexe 2).

Les valeurs obtenues montrent que l'épandage de chlorure de sodium (NaCl), sur les routes situées en bordure des lacs, ne semble pas entraîner d'augmentation de la concentration des cations et des anions autres que les chlorures et le sodium dans les lacs. C'est pour cette raison que nous nous sommes limités à développer un modèle d'accumulation des chlorures dans les lacs.

Une analyse plus détaillée des résultats d'analyses physico-chimiques est fournie à l'annexe 2. Les résultats des analyses physico-chimiques nous seront utiles dans la comparaison des concentrations de chlorures mesurées et des concentrations de chlorures calculées.

6. EVALUATION DE LA CONCENTRATION D'EQUILIBRE EN CHLORURE DES LACS

6.1 CONCEPT DE CONCENTRATION D'EQUILIBRE

La concentration d'équilibre dans un lac pour différents éléments chimiques peut être définie comme étant la concentration maximale qui peut être atteinte dans un lac pour un apport annuel constant de ces éléments au lac.

Un lac présentera une concentration d'équilibre de chlorures au moment où la quantité de chlorures sortant du lac sera égale à la quantité qui y parvient. En fonction du volume du lac, de l'apport de chlorures et du débit de l'émissaire, il en résultera, après un certain nombre d'années de salage d'une route longeant un lac, une concentration d'équilibre que l'on pourra retrouver et qu'il est possible d'évaluer à l'aide d'un modèle mathématique.

Le calcul de la concentration d'équilibre est basé sur les hypothèses suivantes:

- il n'y a pas de pertes de chlorures par sédimentation et par évaporation; ceux-ci demeurent en solution dans les lacs;

- il y a une répartition homogène verticale et horizontale des chlorures dans les lacs (phénomène nécessaire pour le calcul d'une concentration d'équilibre). Les résultats d'analyses physico-chimiques des lacs, montrent que les chlorures y sont répartis uniformément.

6.2 DEVELOPPEMENT D'UN MODELE DE CALCUL POUR EVALUER LA CONCENTRATION D'EQUILIBRE DES CHLORURES DANS UN LAC

6.2.1 MODELE DE CALCUL DE LA CONCENTRATION D'EQUILIBRE

Pour développer un modèle de calcul de la concentration d'équilibre des chlorures dans les lacs nous avons utilisé une formule développée par Metcalf et Eddy (1972) et qui s'écrit comme suit:

$$(1) \quad C = \frac{W}{BV} (1 - e^{-Bt}) + C_o e^{-Bt}$$

où: C = Concentration au temps t (mg/l)

B = Fréquence de renouvellement du lac (année $^{-1}$)

W = Quantité de l'ion x parvenant au lac (mg)

V = Volume du lac (millions de m^3)

C_o = Concentration initiale de l'ion x dans le lac (mg/l)

t = Temps (année)

La concentration d'équilibre de l'ion x sera obtenue lorsque t tendra vers l'infini. A ce moment l'équation devient:

$$(2) \quad C = \frac{W}{BV}$$

car au temps infini:

$(1 - C^{-Bt})$ tend vers 1

$(C_o e^{-Bt})$ tend vers 0

Considérant que:

$$B = 1/to + K$$

$$to = \frac{V}{Q}$$

où: to = Temps de renouvellement de la masse d'eau (année)

Q = Débit de l'émissaire (m^3/année)

V = Volume du lac (10^6 m^3)

K = Cte de sédimentation (nulle pour les chlorures).

L'équation peut être simplifiée et s'écrire de la façon suivante:

$$C = \frac{W}{(1/to)\ V}$$

$$C = \frac{W}{(Q/V)\ V}$$

$$(3)\quad C = \frac{W}{Q}$$

Pour obtenir la concentration d'équilibre en mg/l, l'on transforme le débit de mètres cubes/année en litres/année.

Donc le calcul de la concentration d'équilibre des chlorures se base sur:

. le débit de l'émissaire (Q);

. la quantité de chlorures parvenant au lac (W).

6.2.2 : CALCUL DU DEBIT DE L'EMISSAIRE ET DE LA QUANTITE DE CHLORURES PARVENANT AU LAC

6.2.2.1 DEBIT DE L'EMISSAIRE

Lorsque le débit de l'émissaire n'était pas disponible au ministère de l'Environnement du Québec, il a été calculé à l'aide d'une carte des débits spécifiques fournie par le Service de la qualité des eaux de ce Ministère (figure 1). Le débit de l'émissaire est évalué en multipliant la superficie du bassin hydrographique du lac (km^2) par le débit spécifique de ce bassin (m^3/sec par km^2). La superficie du bassin hydrographique, lorsqu'elle n'était pas disponible au ministère de l'Environnement du Québec, a été évaluée par planimétrie sur une carte topographique au 1:20 000. Les débits ainsi calculés représentent une moyenne annuelle et l'erreur inhérente à la méthode est de $\pm$ 15%.

6.2.2.2 QUANTITE DE CHLORURES PARVENANT AU LAC

La quantité de chlorures (mg) parvenant au lac a été évaluée de la façon suivante:

$$W = (Cl \cdot LRD \cdot P \cdot 10^9) + S$$

où: Cl = Tonnes de chlorures épandus par kilomètre de route

LRD = Longueur de route drainée vers le lac (km)

P = Pourcentage de chlorures épandus sur la route qui parvient au lac

S = Quantité de chlorures en provenance d'un autre lac ou d'une autre source.

A. TONNES DE CHLORURES EPANDUS PAR KILOMETRE DE ROUTE

Les quantités de sel épandu sur les routes représentent un taux moyen d'épandage par kilomètre et ont été obtenues des bureaux de district du ministère des Transports du Québec situés dans les différentes régions du Québec.

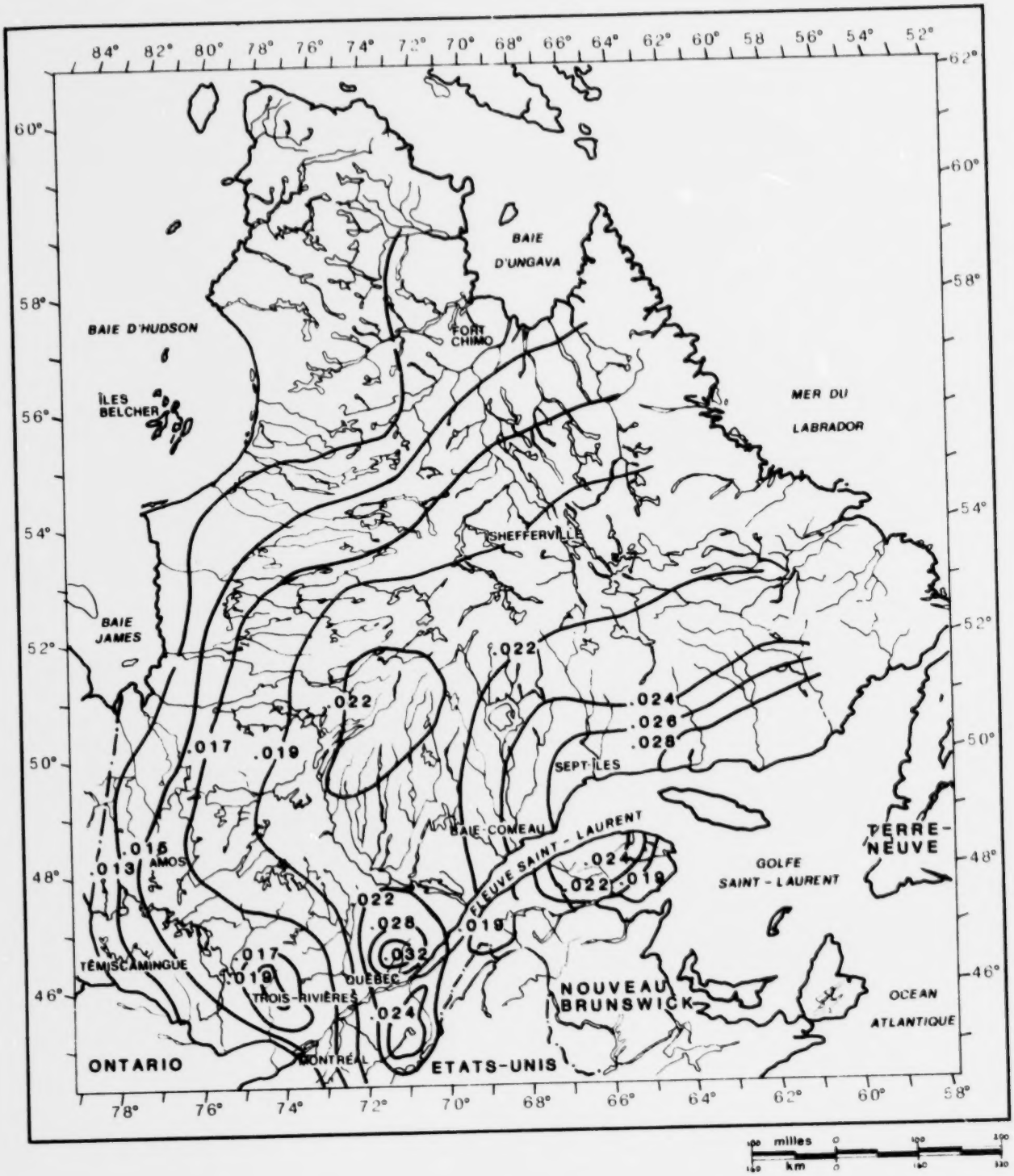

FIGURE : 1 DEBITS SPECIFIQUES (M/ sec. par km)
ANNEE HYDROLOGIQUE 1962-1963 à 1975-1976

SOURCE: SERVICE DE L'HYDROMETRIE, M.R.N.

Etant donné que l'on cherche à évaluer la concentration d'équilibre des chlorures, les quantités de sel (NaCl) ont été transformées en tonnes de chlorures en les multipliant par un facteur (0,6034) qui représente le rapport moléculaire Cl^-/NaCl (tableau 8, annexe 3).

B. LONGUEUR DE ROUTE DRAINEE VERS LE LAC

La longueur de route située dans le bassin de drainage du lac a été déterminée en premier lieu à l'aide d'un curvimètre sur une carte topographique au 1:20 000 et vérifiée par la suite sur le terrain (tableau 8, annexe 3).

C. POURCENTAGE DE CHLORURES EPANDUS SUR LA ROUTE PARVENANT AU LAC

Le pourcentage de la quantité de sel épandu sur la route qui parvient au lac est l'un des paramètres les plus difficiles à évaluer. Celui-ci peut varier selon le type de sol, la topographie, la proximité de la route et le drainage. Toutefois, Kunkle (1971) mentionne qu'environ 75% de la quantité de sel épandu sur la route parvient au lac.

Dans nos calculs de la concentration d'équilibre, nous avons considéré que ce pourcentage varie entre 75% et 100%.

D. QUANTITE DE CHLORURES PROVENANT D'UN AUTRE LAC

Dans le cas de quelques lacs que nous avons échantillonnés, l'apport de chlorures peut provenir de la route et d'un ou plusieurs lacs situés en amont. Pour calculer la quantité de chlorures qui parvient d'autres lacs, nous avons considéré que les lacs en amont présentaient des conditions d'équilibre et nous avons calculé l'apport de chlorures en multipliant la concentration des chlorures (mg/l) par le débit de l'émissaire (l/année). (Tableau 8, annexe 3.)

6.2.3 POURCENTAGE D'ERREUR SUR LA CONCENTRATION D'EQUILIBRE DE CHLORURES

Lorsque l'apport de chlorures à un lac ne provient que de la route, le pourcentage d'erreur maximal sur la concentration d'équilibre a été évalué de la façon suivante:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta W}{W} + \frac{\Delta Q}{Q}$$

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta Cl}{Cl} + \frac{\Delta LRD}{LRD} + \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta Q}{Q}$$

Le taux d'épandage de sel représentant le taux moyen par kilomètre par année, l'erreur relative provient des variations annuelles du taux d'épandage. Puisque l'épandage de sel est constant d'un kilomètre à l'autre et que les épandeuses fonctionnent à un rythme constant, l'erreur proviendra de la variation annuelle des quantités de sel épandu. Pour les différentes routes du Québec, on note une variation maximale de $\pm$ 8% entre les hivers 1978-1979 et 1979-1980.

L'erreur relative sur la longueur de route drainée vers le lac provient de l'imprécision de la mesure sur les cartes topographiques et correspond à $\pm$ 7%. Comme nous l'avons mentionné antérieurement, l'erreur sur Q est de $\pm$ 15%. L'imprécision sur le pourcentage de sel épandu sur la route qui se rend au lac (P) est difficilement évaluable. Pour les besoins du calcul, nous considérons que P varie entre 75% et 100% et, à la lumière des résultats obtenus, nous pouvons préciser l'erreur relative maximale sur P.

L'erreur relative sur la concentration d'équilibre est donc:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta Cl}{Cl} + \frac{\Delta LRD}{LRD} + \frac{\Delta Q}{Q}$$

$$\frac{\Delta C}{C} = 8\% + 7\% + 15\%$$

$$\frac{\Delta C}{C} = 30\%$$

Lorsque l'apport de chlorures à un lac (lacs D'Argent, Ludger, Magog, Méduse) provient à la fois de la route et d'un autre lac, le pourcentage d'erreur a été évalué de la façon suivante:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta W}{W} + \frac{\Delta Q}{Q}$$

$$W = (C1 \cdot LRD \cdot P) + S$$

$$W = W^1 + S$$

$$\Delta W = \Delta W^1 + \Delta S$$

$$\frac{\Delta W^1}{W^1} = \left(\frac{\Delta C1}{C1} + \frac{\Delta LRD}{LRD} + \frac{\Delta P}{P}\right)$$

$$\Delta W^1 = W^1 \ (\Delta C1/C1 + \Delta LRD/LRD + \Delta P/P)$$

$$\Delta W = \frac{W^1 \ (\Delta C1/C1 + \Delta LRD/LRD + \Delta P/P) + S}{(C1 \times LRD \times P) + S}$$

$$\frac{\Delta Ce}{Ce} = \frac{W^1 \ (\Delta C1/C1 + \Delta LRD/LRD + \Delta P/P) + \Delta S}{(C1 \times LRD \times P) + S} + \frac{\Delta Q}{Q}$$

ΔP étant négligeable et P se rapprochant de 100%

$$\frac{\Delta Ce}{Ce} = \frac{W^1 \ (\Delta C/C1 + \Delta LRD/LRD + \Delta S)}{(C1 \times LRD) + S} + \frac{\Delta Q}{Q}$$

$$\frac{\Delta Ce}{Ce} = \frac{W^1 \ (.15) + \Delta S}{(C1 \times LRD) + S} + \frac{\Delta Q}{Q}$$

$$\frac{\Delta Ce}{Ce} = \frac{W^1 \ (.15) + \Delta S}{(C1 \times LRD) + S} \times 100 + 15\%$$

$$\frac{\Delta Ce}{Ce} = \frac{W^1 \ (.15) + \Delta S}{(W^1) + S} \times 100 + 15\%$$

Où Ce est la concentration d'équilibre.

6.3 TEMPS REQUIS POUR ATTEINDRE UNE CONCENTRATION D'EQUILIBRE

Puisque la concentration d'équilibre est atteinte en un temps t infini, il peut s'avérer très utile d'évaluer le nombre d'années requis, après le début de salage d'une route, pour qu'une concentration de chlorures équivalant à 99% de sa concentration d'équilibre, soit atteinte dans un lac. De même, lorsqu'un lac est fortement contaminé par les chlorures, il peut s'avérer important d'évaluer le temps requis pour que la concentration initiale diminue de 99%, ou que la concentration soit égale à 1,01 fois la concentration d'équilibre, à partir du moment où l'épandage de sel est interrompu ou diminué (Dillon et Rigler, 1975).

6.3.1 CALCUL DU TEMPS DE REPONSE D'UN LAC

Le temps de réponse des lacs peut être évalué en utilisant l'équation 1:

$$C = \frac{W}{BV} (1 - e^{-Bt}) + C_o e^{-Bt}$$

lorsque t $\longrightarrow$ t infini

$$W/BV = CE$$

en substituant Ce à W/BV l'on obtient:

$$C = CE (1 - e^{-Bt}) + C_o e^{-Bt}$$

Etant donné que l'on cherche à évaluer le temps requis pour atteindre soit 0,99 ou 1,01 fois la concentration d'équilibre l'on peut remplacer C par $CE + \frac{C_o - CE}{100}$ et l'on obtient:

$$CE + \frac{C_o - CE}{100} = CE\ (1 - e^{-Bt}) + C_o e^{-Bt}$$

$$CE + \frac{C_o - CE}{100} = CE - CEe^{-Bt} + C_o e^{-Bt}$$

$$\frac{C_o - CE}{100} = CEe^{-Bt} + C_o e^{-Bt}$$

$$\frac{C_o - CE}{100} = e^{-Bt}\ (C_o - CE)$$

$$\frac{(C_o - CE)}{100} \times \frac{1}{(C_o - CE)} = e^{-Bt}$$

$$\frac{1}{100} = e^{-Bt}$$

$$\ln\ 0{,}01 = -Bt$$

$$-4{,}50 = -Bt$$

$$\frac{-4{,}60}{-B} = t$$

$$\frac{-4{,}60}{(1/to)} = t$$

$$tr = 4{,}60 \times to$$

où: to = Temps de renouvellement

tr = Temps de réponse (temps pour atteindre CE)

CE = Concentration d'équilibre

C_o = Concentration initiale

Le temps de réponse d'un lac est fonction seulement du temps de renouvellement du lac, peu importe la concentration initiale et la concentration d'équilibre de chlorures.

La figure 2 montre qu'indépendamment de la concentration initiale de chlorures (C_o) et de la concentration d'équilibre de chlorures (CE), le temps requis pour atteindre CE est le même dans tous les cas. Cependant, le taux d'augmentation ou de diminution de la concentration de chlorures diffère pour chaque concentration d'équilibre.

Le temps de renouvellement de la masse d'eau (to) peut être évalué en divisant le volume du lac (m^3) par le débit de l'émissaire (m^3/jour).

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le débit de l'émissaire peut être évalué à l'aide de la superficie du bassin hydrographique du lac et du débit spécifique. Pour évaluer le volume des lacs, lorsque la bathymétrie était disponible au ministère de l'Environnement, il a été déterminé par la planimétrie. Lorsque la bathymétrie n'était pas disponible, nous avons utilisé un modèle de calcul de la profondeur moyenne mis au point par l'INRS - EAU (villeneuve et al. 1978). La profondeur moyenne étant le rapport volume/superficie, on peut donc facilement obtenir le volume lorsque les deux autres paramètres sont connus.

Malgré le pourcentage d'erreur (35%) élevé mentionné par Villeneuve et al. (1978) dans l'évaluation de la profondeur moyenne, cette méthode est jusqu'à présent la seule, en plus de la bathymétrie, qui permette d'évaluer le volume d'un lac.

6.3.2 ERREUR RELATIVE MAXIMALE SUR LES VALEURS DU TEMPS DE REPONSE

Considérant que le temps de réponse équivaut à 4,60 fois le temps de renouvellement d'un lac, l'erreur relative sur le temps de réponse provient de l'erreur relative sur le temps de renouvellement. On a donc:

$$\frac{\Delta tr}{tr} = \frac{\Delta to}{to}$$

$$\frac{\Delta tr}{tr} = \frac{\Delta to}{to} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta Q}{Q}$$

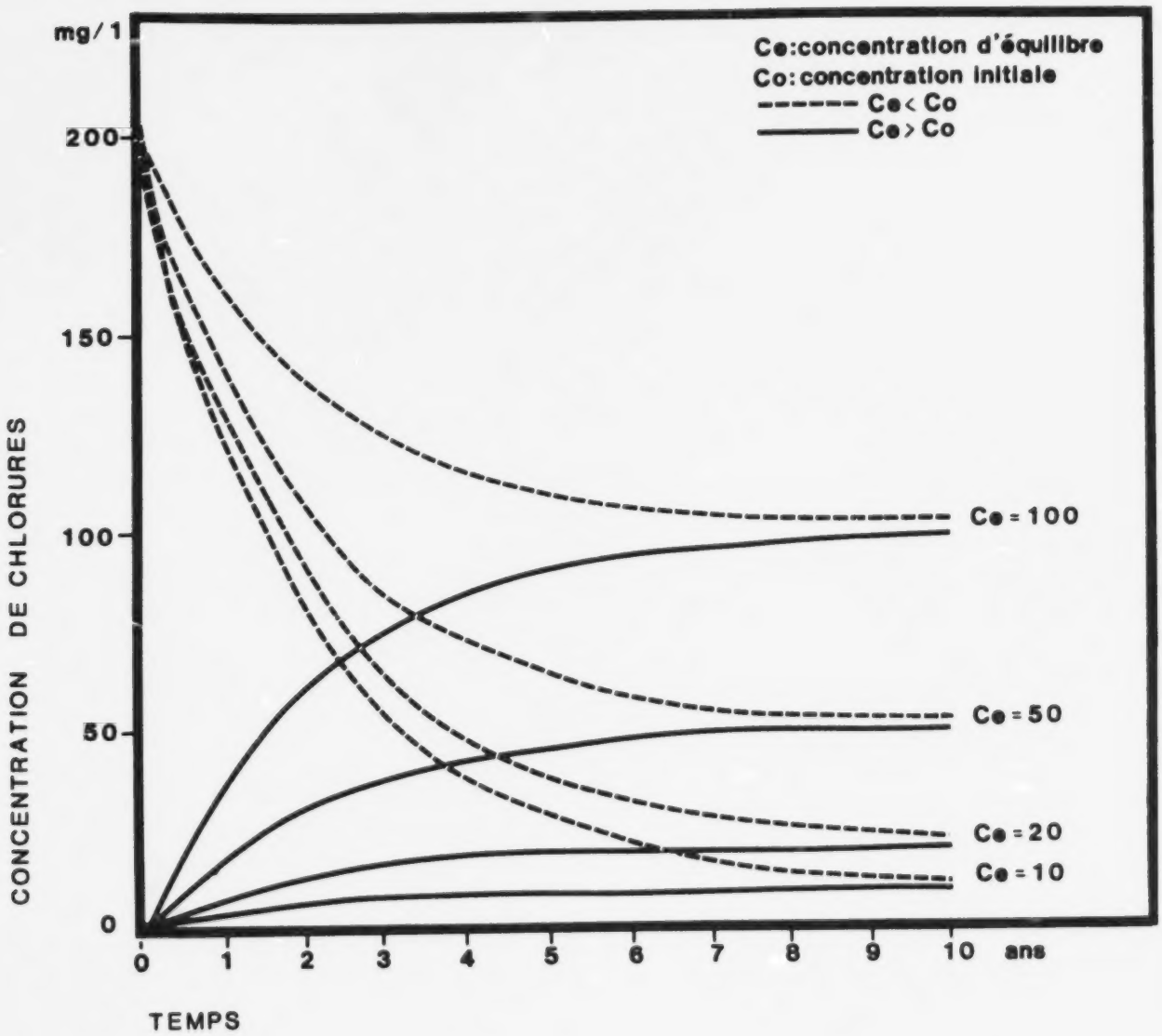

FIGURE 2 : COMPORTEMENT D'UN LAC POUR ATTEINDRE DIFFERENTES CONCENTRATIONS D'EQUILIBRE

Lorsque le volume a été évalué par planimétrie l'erreur relative maximale sur le temps de réponse correspond à:

$$\frac{\Delta tr}{tr} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta Q}{Q}$$

$$\frac{\Delta tr}{tr} = 5\% + 15\%$$

$$\frac{\Delta tr}{tr} = 20\%$$

Par contre lorsque le volume fut évalué à l'aide du modèle de l'INRS - EAU l'erreur relative maximale correspondait à:

$$\frac{\Delta tr}{tr} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta Q}{Q}$$

$$\frac{\Delta tr}{tr} = 35\% + 15\%$$

$$\frac{\Delta tr}{tr} = 50\%$$

6.4 VALEURS DES CONCENTRATIONS D'EQUILIBRE ET DU TEMPS DE REPONSE DES LACS

Pour 26 des 40 lacs étudiés nous avons procédé au calcul de la concentration d'équilibre de chlorures et du temps de réponse à l'aide des paramètres du tableau 9 (annexe 3).

6.4.1 CONCENTRATION D'EQUILIBRE CALCULEE POUR 26 DES 40 LACS ECHANTILLONNES AU COURS DE LA PERIODE ESTIVALE DE 1980

Les concentrations d'équilibre calculées à l'aide du modèle décrit à la section 6.2.1, sont présentées au tableau 10. Les calculs ont été effectués pour deux valeurs du pourcentage de sel épandu sur la route qui se rend au lac, soit 75% et 100%.

TABLEAU 2 - CONCENTRATION D'EQUILIBRE EN CHLORURES DANS LES LACS LORSQUE 75% ET 100% DE LA QUANTITE DE CHLORURES EPANDUS SUR LA ROUTE PARVIENNENT AU LAC (MG/L).

Lac	Concentration d'équilibre p=75%	p=100%	Concentration mesurée en surface en 1980
André	12	17	27
D'Argent	7	9	9
Aux Barges	7	9	6
Beaulac	7	9	13
Brochet	16	21	20
Brome	8	11	17
Désert	13	17	20
2e Lac du Chafaud aux Basques	17	22	7
Dufour	26	35	32
Dufresne	9	12	15
Duhamel	11	15	44
Ennis	11	15	14
Ludger	5	6	7
Magog	7	10	10
Méduse	98	130	100 (1)
Millette	36	48	67
Orford	31	41	44
Pauzé	15	20	31
À Pitre	25	33	38
Du Portage	23	31	34
Robert	13	11	19
Roxton Pond	4	6	5

TABLEAU 2 - (Suite)

Lac	Concentration d'équilibre		Concentration mesurée en surface en 1980
	p=75%	p=100%	
Saint-Denis	4	5	26
Saint-Louis	5	7	14
Sainte-Marie	25	33	30
À la Truite	157	201	113 (2)

(1) Concentration observée en 1979

(2) Concentration observée en 1978

* L'erreur relative sur les valeurs de concentration d'équilibre est de ± 30%.

L'examen des valeurs présentées dans ce tableau indique que les concentrations d'équilibre calculées se rapprochent des concentrations mesurées dans les lacs durant la période estivale de 1980.

Dans le cas du lac à la Truite et celui du lac Méduse dans lequel le premier se déverse, dû à l'interruption de l'épandage de sel sur l'autoroute 15, il est impossible de vérifier si les concentrations d'équilibre calculées sont celles qui auraient été atteintes dans les lacs. Mentionnons ici qu'au lac Méduse la concentration d'équilibre aurait été atteinte quelques années après que le lac à la Truite l'eût atteinte. L'on remarque toutefois que même si les concentrations mesurées dans ces deux lacs, diffèrent des concentrations d'équilibre calculées, elles sont du même ordre de grandeur.

Dans le cas des lacs André, 2e lac du Chafaud aux Basques, Duhamel, Millette, Pauzé, Saint-Denis et Saint-Louis, l'on constate que les concentrations d'équilibre calculées, diffèrent des concentrations mesurées. Ces différences peuvent être dues à plusieurs facteurs.

Dans le cas du lac Millette, en plus de la route 117 et de l'autoroute 15, une chambre à sel du ministère des Transports du Québec, située non loin du lac, constitue une source additionnelle de chlorures. Une quantité appréciable de sel peut parvenir au lac avec l'eau de la fonte de la neige apportée à l'intérieur de la chambre à sel par les camions. De plus, les pertes de sel des camions aux environs de la chambre à sel contribuent à augmenter l'apport de chlorures au lac. Toutefois, il s'avère difficile de quantifier cet apport additionnel de sel, mais cela pourrait expliquer la différence entre la concentration d'équilibre calculée et la concentration mesurée.

Pour le lac Saint-Denis, l'apport de chlorures en provenance de la route 329 n'explique pas la concentration de chlorures mesurée dans le lac. A proximité du lac se situe une base militaire des forces armées canadiennes où l'on répand au moins 50 tonnes de sel par année sur les routes. Les informations recueillies sur les quantités de sel épandu à l'intérieur de la base ne permettent pas d'évaluer avec précision l'apport additionnel de chlorures au lac. Toutefois, cet apport constituerait la seule source de chlorures autre que la route.

En ce qui a trait aux lacs Saint-Louis, Pauzé, Duhamel et 2e lac du Chafaud aux Basques, la grande différence entre les concentrations mesurées et les concentrations calculées peut provenir d'une mauvaise évaluation de la quantité de sel se rendant au lac, ou d'une mauvaise évaluation du débit de l'émissaire.

Une étude plus approfondie devrait vraisemblablement permettre de cerner avec précision la ou les sources de ces divergences.

Considérant l'erreur relative sur les concentrations d'équilibre calculées, on constate que lorsque les calculs sont effectués avec un pourcentage de sel se rendant au lac équivalant à 100%, les concentrations mesurées se situent à l'intérieur de la plage de variation des concentrations calculées. De plus, on remarque que dans la majorité des cas la différence entre les concentrations calculées et mesurées est inférieure à 30%, valeur qui correspond à l'erreur relative maximale sur les valeurs calculées. Lorsqu'on considère que 75% du sel épandu sur la route parvient au lac, les concentrations calculées sont inférieures aux concentrations mesurées.

Afin de vérifier si les concentrations calculées pour 75% et 100% de la quantité de sel épandu qui se rend au lac diffèrent significativement, nous avons calculé l'intervalle de confiance de la moyenne des différences (en pourcentage) entre les concentrations calculées et mesurées.

$$\frac{\text{(valeurs calculées - valeurs mesurées)}}{\text{valeurs calculées}} \times 100$$

Dans le calcul nous avons exclu les lacs Duhamel, Millette, Méduse, Saint-Denis, à la Truite et 2e lac du Chafaud aux Basques en raison des explications fournies antérieurement.

En utilisant 95% comme intervalle de confiance de la moyenne, la différence moyenne est de $-55,9\% \pm 20,4\%$ dans l'hypothèse où 75% du sel épandu sur la route parvient au lac, et, $-16,9\% \pm 15,3\%$ pour 100%. On remarque que les intervalles de confiance ne se recoupent pas, indiquant ainsi que les concentrations calculées pour 75% et 100% diffèrent significativement. La figure 3, où sont illustrées les différences entre les concentrations mesurées et calculées montre que les concentrations d'équilibre sont nettement sous-estimées lorsqu'on

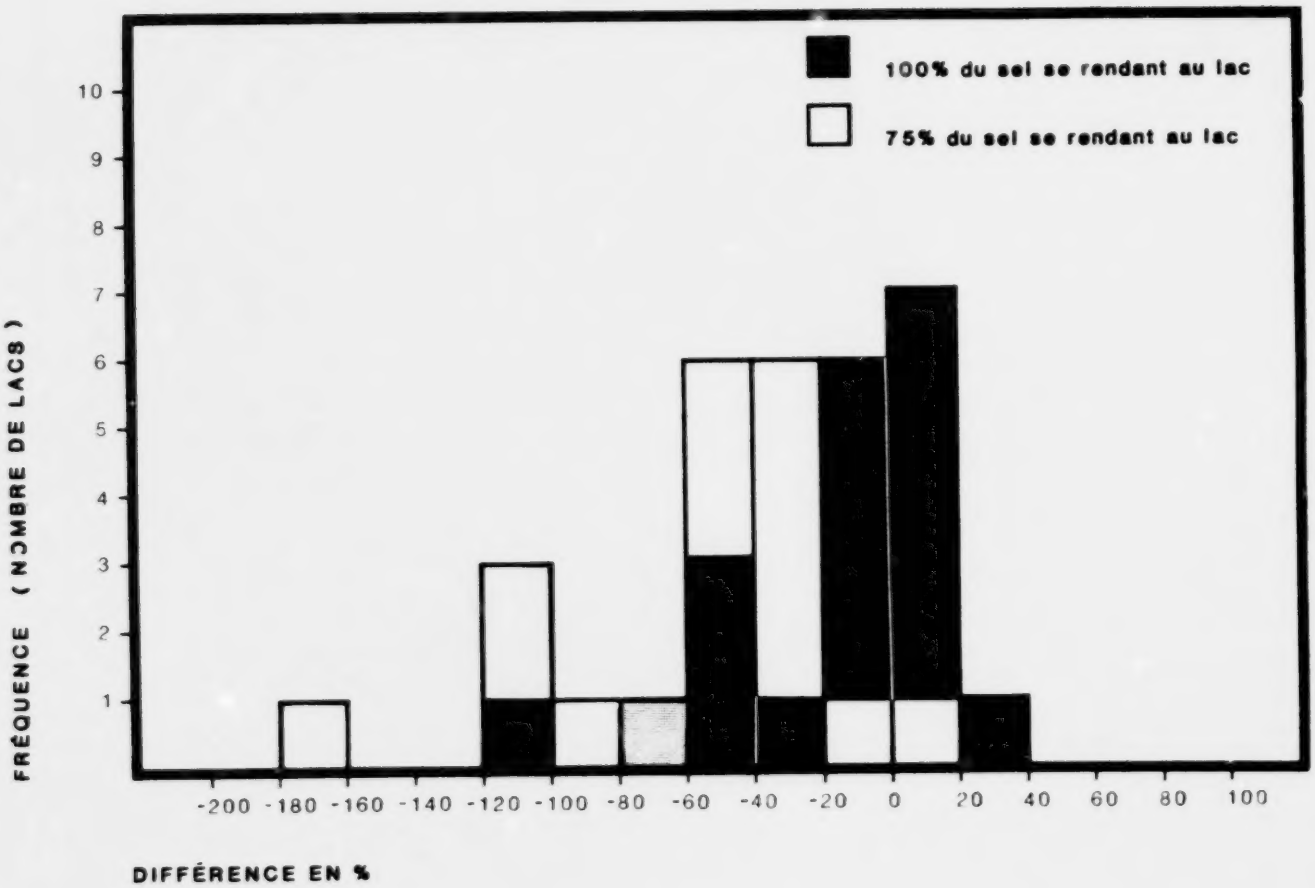

FIGURE 3 : HISTOGRAMME DE FREQUENCE DES DIFFERENCES EN POURCENTAGE ENTRE LES CONCENTRATIONS CALCULEES ET MESUREES

utilise 75% du sel épandu sur la route qui se rend au lac. Par contre, en utilisant 100% dans le calcul de la concentration d'équilibre, on sous-estime, de façon systématique, la concentration d'équilibre de 16,9 contre 55,9% pour 75%.

De tous ces résultats on peut conclure:

$C = 1{,}169\ W/Q \pm 13{,}1\%\ W/Q$

pour un intervalle de confiance de 95% (t - Student)

C = Concentration en mg/l

W/Q = Concentration d'équilibre en mg/l

W = Apport de chlorures (mg/année)

Q = Débit à l'émissaire (l/année)

L'erreur relative du modèle de prévision est de 13,1% pour un intervalle de confiance de 95%. Ces résultats démontrent que le modèle est plus précis que nous l'espérions au départ, étant donné l'imprécision des facteurs pour le calcul de la concentration d'équilibre (voir section 6.2.3). Le coefficient de corrélation de Pearson obtenu entre les concentrations calculées et les concentrations mesurées est de 0,93 pour $p \leq 0{,}01$.

6.4.2 VALEURS DU TEMPS DE REPONSE DES 26 LACS ETUDIES

Les temps de réponse obtenus pour les 26 lacs à l'étude (tableau 11) montrent qu'il y a une variation importante entre les différents lacs. Considérant que les lacs ont des caractéristiques physiques différentes (volume, superficie du bassin hydrographique, fréquence de renouvellement, débit de l'émissaire) on peut dire que les temps de réponse obtenus reflètent bien ces différences.

Pour les lacs où le temps de réponse est faible, on peut considérer qu'un apport important de chlorures occasionnera une augmentation subite de la concentration de chlorures dans le lac. Cette augmentation subite de la concentration pourrait avoir un impact majeur sur la faune et la flore aquatique.

TABLEAU 3 - TEMPS DE REPONSE DES 26 LACS ETUDIES.

Lac	Temps de renouvellement (année)	Temps de réponse (année)	
André	0,03	0,11	·
D'Argent	0,05	0,28	*
Aux Barges	0,96	4,45	·
Beaulac	1,38	6,38	*
Brochet	1,91	8,63	*
Brome	0,70	3,26	*
Désert	0,03	0,21	·
2e Lac du Chafaud aux Basques	11,33	26,92	·
Dufour	0,49	2,27	·
Dufresne	2,58	12,00	*
Duhamel	2,87	13,34	*
Ennis	0,13	0,60	·
Ludger	0,35	1,62	*
Magog	0,06	0,30	*
Méduse	0,06	0,27	·
Millette	1,46	6,77	·
Orford	2,29	10,74	*
Pauzé	0,27	1,25	*
À Pitre	0,73	3,35	·
Du Portage	0,17	0,77	·
Robert	0,10	0,44	·
Roxton Pond	0,55	2,57	*
Saint-Denis	1,00	4,63	*
Saint-Louis	0,44	2,03	*
Sainte-Marie	1,23	5,69	·
À la Truite	2,06	9,81	*

· Erreur relative sur to et t de $\pm$ 50%

* Erreur relative sur to et t de $\pm$ 20%

- Valeur rejetée car elle a été sur-estimée

Considérant que pour la majorité des lacs étudiés, les temps de réponse varient de 0,30 ans à 12,00 ans et qu'on répand des chlorures de sodium sur les routes en bordure de ces lacs depuis au moins 10 à 15 ans, les temps de réponse indiquent que les lacs étudiés devraient être à l'état d'équilibre.

En examinant le temps de réponse obtenu pour le lac Orford (3920 jours $\pm$ 20% ou 10,74 années) et sachant que l'autoroute 10 est en service depuis 1965, ce lac devrait actuellement présenter une concentration d'équilibre de chlorures. Le tableau 12 montre les concentrations de chlorures observées au lac Orford depuis 1974.

Les valeurs des concentrations de chlorures observées au lac Orford depuis 1974, indiquent qu'il n'y a qu'une faible variation entre les années 1976 et 1980. En regard du temps de réponse du lac ainsi que du nombre d'années de salage on remarque qu'au lac Orford une concentration d'équilibre a été atteinte environ 11 ans après le début du salage sur l'autoroute 10. Ceci démontre que le temps de réponse calculé pour ce lac correspond assez bien au nombre d'années requises pour qu'une concentration d'équilibre soit atteinte et ceci, bien entendu, en supposant que le lac est actuellement en état d'équilibre.

Le temps de réponse des lacs étudiés étant inférieur au nombre d'années écoulées entre le début du salage des routes et l'échantillonnage des lacs ainsi que la faible différence entre les concentrations calculées et les concentrations mesurées en chlorures, permettent de croire que les lacs étudiés sont à l'état d'équilibre.

TABLEAU 4 - CONCENTRATION DE CHLORURES OBSERVEE AU LAC ORFORD DEPUIS 1974.

Date	Concentration de chlorures (mg/l)	
	Surface	Fond
74-05-07	40	39
74-08-21	48	36
74-11-05	44	44
75-05-13	38	38
75-08-18	58	58
75-11-04	46	48
76-04-28	56	52
76-08-10	48	48
79-08-09	44	44
80-08-12	46	46

CONCLUSION

A la lumière des résultats obtenus on peut conclure:

- qu'il n'y a pas d'augmentation des cations et des ions majeurs autres que les chlorures et le sodium dans les lacs situés en bordure des routes sur lesquelles on répand des sels de déglaçage;

- que dans les lacs échantillonnés en 1980, aucun ne présente une stratification des chlorures;

- que la faible différence observée entre les concentrations de chlorures calculées et mesurées ainsi que les valeurs du temps de réponse des lacs, permettent de croire que les lacs étudiés sont à l'état d'équilibre;

- que le modèle de calcul de la concentration d'équilibre permet de prédire la concentration maximale qu'atteindront les chlorures dans un lac pour une quantité annuelle donnée de sel épandu sur la route;

- que les résultats du calcul de la concentration d'équilibre montrent que le pourcentage de sel épandu sur la route qui parvient au lac, se rapproche de 100%;

- que lorsque le temps de réponse d'un lac est inférieur ou égal aux années de salage de la route vers ce lac, on peut s'attendre à ce que celui-ci présente une concentration d'équilibre de chlorures.

RECOMMANDATIONS

Conséquemment, il est recommandé:

- que le modèle de calcul de la concentration d'équilibre soit utilisé dans toutes les études d'impact de nouveaux projets routiers afin de choisir le tracé de moindre impact sur la qualité de l'eau des lacs;

- d'utiliser le modèle pour fin d'investigation en cas de plaintes issues de diverses municipalités concernant la qualité de l'eau des lacs servant à l'approvisionnement en eau potable;

- d'appliquer le modèle à tous les lacs situés en bordure des routes, de manière à identifier les lacs dont les eaux pourraient être altérées de façon significative.

BIBLIOGRAPHIE

A.P.H.A., A.W.W.A. & W.P.C.F., 1971. Standard methods for examination of water and wastewater, 13th edition, American Public Health Association, Washington, D.C., 874 p.

Bobée, B., D. Cluis, M. Goulet, M. Lachance, L. Potvin et A. Tessier, 1977. Evaluation du réseau de qualité des eaux (M.R.N.). Analyse et interprétation des données de la période 1967-65, tome III. Une étude réalisée pour le compte du ministère des Richesses naturelles du Québec, INRS-EAU, UQAM, polycopié, 208 p.

Dillon, P.J. et F.H. Rigler, 1975. A simple method for predicting the capacity of a lake for development based on lake trophic status, J. Fish, Res. Board Can. 32: 1519-1531.

Federal Highway Administration, 1977. Economic impact of highway snow and ice control. Final report, Washington, D.C., 118 p.

Kunkle, S.H., 1971. Effects of road salts on a Vermont stream, State University College of Forestry at Syracuse University, Syracuse, N.Y.

Legendre, P., A. Chodorowski, W. Chodorowska, P. Pichet et P. Potvin, 1980. Qualité des eaux. Interprétation des données lacustres (1971-1977), ministère de l'Environnement du Québec, Service de la qualité des eaux, 409 p.

Metcalf et Eddy, 1972. Wastewater Engineering: Collection, treatment, disposal. Series in Water Resources and Environmental Engineering, Mc Graw-Hill, New-York, U.S.A., 782 p.

Nie, N.H., C. Hadlay Hull, J.G. Jenkins, K. Steinbrenner, D.H. Bent, 1975. Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), second edition, Mc Graw-Hill, New-York, 675 p.

Villeneuve, J.P., F. Guimont et D. Leblanc, 1978. Modèle mathématique pour le calcul de la profondeur moyenne des lacs. INRS-EAU, rapport interne no 63, 28 p.

ANNEXE 1

TABLEAU 5 - LOCALISATION DES LACS ECHANTILLONNES EN 1980.

NOM	REGION	ROUTE	LATITUDE	LONGITUDE
Lac André	Saint-Zénon	131	46°31'	73°45'
Lac Antoine	Saint-Aimé-des-Lacs	Secondaire à la 138	47°41'	70°20'
Lac D'argent	Eastman	112	45°19'	72°19'
Lac Baie des Rochers*	Baie des Rochers	138	47°56'	69°53'
Lac aux Barges	Mont-Laurier	117	46°33'	75°24'
Lac Beaulac	Chertsey	335	46°02'	73°53'
Lac Beauport	Beauport		46°57'	71°17'
Lac Brochet	Mont-Laurier	117	46°33'	75°35'
Lac Brome	Knowlton	216 - 243	45°15'	72°30'
Lac Clément	Notre-Dame-des-Laurentides		46°57'	71°21'
Lac Clouthier*	Lantier	329	46°11'	74°14'
Lac Désert	Saint-Charles-de-Montcalm	125	46°06'	73°55'
2e Lac au Chafaud aux Basques	Baie des Rochers	138	47°59'	69°49'
Lac des deux Truites*	Stoneham		46°58'	71°21'
Lac Dufour	Port aux Quilles	138	47°54'	69°51'
Lac Dufresne	Lantier	329	46°12'	74°14'
Lac Duhamel	Saint-Jovite	117	46°08'	74°38'
Lac Ennis	Port aux Quilles	138	47°55'	69°52'
Lac Jolicoeur	Saint-Jovite	117	46°07'	74°32'
Lac Lovering*	Magog	141	45°10'	72°09'
Lac Ludger	Lantier	329	46°08'	74°15'
Lac Magog	Magog	112-108-216-A-55	45°18'	72°02'
Lac Méduse	Sainte-Agathe	A-15	46°01'	74°14'
Lac Millette	Sainte-Adèle	117	45°58'	74°11'
Lac Orford	Magog	A-10-112	45°18'	72°16'
Lac Paquin	Sainte-Agathe	A-15	46°00'	74°14'
Lac Parker*	Eastman		45°20'	82°19'
Lac Pauzé	Chertsey	125	46°08'	73°59'
Lac à Pitre	Port aux Quilles	138	47°57'	69°52'
Lac du Portage	Baie des Rochers	138	47°59'	69°50'
Lac Robert	Saint-Zénon	131	46°31'	73°45'
Lac Roxton Pond	Granby	139	45°28'	72°40'
Lac Saguay	Nominingue	117	46°30'	75°08'

TABLEAU 5 - (Suite)

NOM	REGION	ROUTE	LATITUDE	LONGITUDE
Lac Saint-Augustin	Saint-Augustin	A-40	46°41'	71°23'
Lac Saint-Denis	Saint-Adolphe d'Howard	329	45°56'	74°19'
Lac Saint-Louis	Saint-Zénon	131	46°33'	73°48'
Lac Sainte-Marie	Saint-Aimé-des-Lacs	138	47°41'	70°17'
Lac à la Truite	Sainte-Agathe	A-15	46°02'	74°15'
Lac Vézina	Saint-Jean-de-Matha	131	46°15'	73°32'
Du milieu des Brûlés*	Saint-Aimé-des-Lacs		47°43'	70°22'

* Lacs Témoins

TABLEAU 6 - DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES DES LACS ECHANTILLONNES EN 1980 EN SURFACE ET AU FOND (VALEURS EN mg/l)

Lac	Date d'échantillonnage	Profondeur (m)	T° (°C)	pH	Cond. (S/cm)	Ca^{++} (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)	K^{+} (mg/l)	Na^{+} (mg/l)	SO_4^{--} (mg/l)	Cl^{-} (mg/l)	Alca (mg/l Ca CO_3)	HCO^{-} (mg^3/l)
André	80-07-23	S	20,0	6,5	115	5,0	1,3	0,60	13,0	6,0	27,0	7,0	7,0
		4,0	12,0	6,0	115	5,3	1,2	0,7	13,0	5,0	26,0	8,0	8,0
Antoine	80-08-26	S	25,0	4,0	215	11,5	1,2	0,7	25,0	1,0	56,0	1,0	1,0
D'argent	80-08-11	S	20,0	7,2	100	8,2	2,9	0,3	5,1	5,0	9,0	24,0	23,9
		15,0	9,0	6,5	105	7,5	2,8	0,4	5,5	5,0	9,0	27,0	26,6
Aux Barges	80-07-08	S	19,5	7,4	80	9,5	1,1	0,8	3,5	4,0	6,0	17,0	16,9
		5,0	16,0	6,8	85	9,5	1,1	0,8	3,5	4,0	7,0	17,0	16,9
Beaulac	80-07-15	S	21,5	7,5	105	9,5	1,5	0,5	6,4	3,0	13,0	20,0	19,9
		6,0	15,0	7,1	105	10,0	1,7	0,5	6,4	3,0	14,0	23,0	22,9
Beauport	80-07-30	S	21,5	7,2	190	9,0	1,6	0,7	23,0	6,0	46,0	12,0	11,9
		13,0	13,0	6,8	200	9,6	1,6	0,7	23,0	5,0	46,0	15,0	14,9
Brochet	80-07-07	S	21,0	7,7	135	10,5	2,4	1,7	10,0	7,0	20,0	23,0	22,8
		14,0	4,5	7,5	135	10,0	2,3	1,7	9,7	7,0	20,0	23,0	22,9
Brome	80-08-04	S	25,5	9,0	120	11,0	1,9	1,1	8,1	7,0	17,0	25,0	22,4
		11,0	18,0	6,8	120	12,0	2,0	0,8	8,3	5,0	17,0	27,0	26,9
Clément	80-07-29	S	21,0	7,5	435	21,0	2,6	1,3	56,0	7,0	100,0	38,0	37,8
		4,0	18,0	7,0	480	24,0	3,0	1,4	64,0	7,0	114,0	41,0	40,9
Clouthier	80-06-18	1,0	15,5	5,5	160	1,2	0,3	0,2	0,3	2,0	1,0	0,0	0,0
Désert	80-07-16	S	22,0	6,0	115	6,0	1,0	0,4	12,0	4,0	28,0	7,0	7,0
		2,0	19,0	5,4	90	5,6	0,9	0,4	9,5	2,0	20,0	7,0	7,0
2e Lac du Chafaud aux Basques	80-09-09	S	11,5	6,9	62	4,2	0,6	0,5	5,5	1,0	7,0	10,0	9,9
		15,0	5,0	6,7	64	4,0	0,6	0,4	5,5	2,0	8,0	10,0	9,9

TABLEAU 6 - DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES DES LACS ECHANTILLONNES EN 1980 EN SURFACE ET AU FOND (VALEURS EN mg/l) - (Suite)

Lac	Date d'échantillonnage	Profondeur (m)	T° (°C)	pH	Cond. (S/cm)	Ca^{++} (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)	K^{+} (mg/l)	Na^{+} (mg/l)	$SO4^{--}$ (mg/l)	Cl^{-} (mg/l)	Alca (mg/l Ca CO_3)	HCO_3^{-} (mg/l
Des deux Truites	80-07-29	S	21,0	7,2	38	4,5	1,0	0,4	1,1	3,0	1,0	12,0	11,9
		2,0	21,0	7,1	38	4,5	1,0	0,3	1,1	3,0	1,0	12,0	11,9
Du milieu des Brûlés	80-08-26	S	24,0	6,7	36	4,2	0,8	0,1	1,2	2,0	2,0	8,0	8,0
		1,0	23,0	6,7	36	4,2	0,8	0,1	1,1	3,0	1,0	8,0	8,0
Dufour	80-09-03	S	19,0	6,9	139	7,3	0,9	0,4	15,0	2,0	32,0	14,0	13,9
		11,0	4,5	6,5	159	8,7	1,0	0,4	17,5	1,0	40,0	14,0	14,0
Dufresne	80-06-16	S	15,0	8,4	67	3,2	0,6	0,3	7,2	5,0	15,0	3,0	2,9
		11,0	6,3	6,8	67	3,3	0,7	0,3	7,5	5,0	15,0	3,0	3,0
Duhamel	80-07-01	S	20,0	7,8	220	14,0	1,5	0,8	24,0	9,0	44,0	25,0	24,3
		28,0	4,0	6,9	235	14,5	1,6	1,0	28,0	8,0	48,0	26,0	25,9
Ennis	80-09-03	S	19,0	6,6	86	6,7	0,7	0,4	7,6	1,0	14,0	16,0	15,9
		10,0	6,0	6,4	82	6,5	0,7	0,4	7,2	1,0	14,0	14,0	14,0
Jolicoeur	80-07-01	S	23,0	9,4	140	15,5	1,2	0,6	7,6	5,0	18,0	34,0	26,5
		1,0	22,0	9,4	140	16,0	1,2	0,6	7,6	4,0	18,0	33,0	25,7
Lovering	80-08-18	S	21,0	7,0	62	4,6	3,6	0,7	1,4	8,0	2,0	20,0	19,9
		21,0	9,5	6,6	62	4,6	3,6	0,6	1,3	5,0	2,0	22,0	21,9
Ludger	80-06-18	S	16,5	6,8	52	3,6	0,9	0,3	4,0	5,0	7,0	7,0	7,0
		13,0	7,0	6,1	57	4,0	0,9	0,3	4,6	5,0	9,0	7,0	7,0
Magog	80-08-10	S	22,0	8,6	144	15,5	3,2	1,3	9,0	9,0	10,0	50,0	47,8
		14,0	13,0	7,3	144	16,5	3,2	1,3	7,8	6,0	9,0	50,0	49,8
Méduse	80-06-11	3,0	12,0	8,2	365	18,0	3,8	0,7	39,0	8,0	92,0	18,0	17,6
Millette	80-07-02	S	-	7,8	290	12,5	2,6	0,8	37,0	9,0	67,0	18,0	17,8
		4,0	-	7,7	290	12,5	2,6	0,8	37,0	9,0	70,0	18,0	17,9

TABLEAU 6 - DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES DES LACS ECHANTILLONNES EN 1980 EN SURFACE ET AU FOND (VALEURS EN mg/l) - (Suite)

Lac	Date d'échantillonnage	Profondeur (m)	T° (°C)	pH	Cond. (S/cm)	Ca^{++} (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)	K^{+} (mg/l)	Na^{+} (mg/l)	SO_4^{--} (mg/l)	Cl^{-} (mg/l)	Alca (mg/l Ca CO_3)	HCO_3^{-} (mg/l)
Orford	80-08-11	S	20,5	8,1	235	8,1	4,9	0,4	25,0	8,0	46,0	27,0	26,6
		30,0	4,0	7,3	230	8,0	4,9	0,3	25,0	8,0	46,0	25,0	24,9
Paquin	80-06-12	S	13,5	7,2	140	6,2	1,1	0,4	17,0	5,0	28,0	7,0	6,9
		19,0	4,0	7,5	185	8,2	1,4	0,4	23,0	5,0	42,0	6,0	5,9
Parker	80-08-04	S	23,0	6,5	60	8,5	2,1	0,3	0,8	5,0	2,0	18,0	17,9
		8,0	9,0	6,5	70	8,5	2,1	0,5	0,8	3,0	2,0	27,0	26,9
Pauzé	80-07-14	S	22,0	7,2	150	8,0	1,6	0,4	14,0	7,0	31,0	13,0	12,9
		15,0	4,0	6,6	215	11,5	2,6	0,5	22,0	5,0	47,0	21,0	20,9
À Pitre	80-09-10	S	15,5	7,6	194	9,7	1,2	0,6	26,0	1,0	38,0	24,0	23,8
		5,0	14,5	7,3	205	10,0	1,2	0,6	26,0	1,0	40,0	24,0	23,9
Du Portage	80-09-29	S	17,0	7,2	146	6,0	1,0	0,6	18,0	2,0	34,0	12,0	11,9
		6,0	13,5	7,1	148	6,0	1,0	0,6	18,0	2,0	34,0	12,0	11,9
Robert	80-07-23	S	20,0	6,7	130	5,1	1,3	0,7	15,5	4,0	30,0	7,0	7,0
		2,0	17,5	6,2	130	5,2	1,3	0,7	15,0	1,0	30,0	7,0	7,0
Roxton Pond	80-08-06	S	22,5	7,6	90	11,5	1,9	1,2	3,2	7,0	5,0	25,0	24,9
		5,0	21,5	7,2	90	11,0	1,9	1,3	3,2	7,0	5,0	26,0	25,9
Saguay	80-07-08	S	18,0	7,0	65	5,0	0,7	0,6	5,0	3,0	10,0	6,0	5,9
		10,0	6,5	6,6	65	5,0	0,7	0,6	4,6	3,0	8,0	6,0	6,0
Saint-Augustin	80-07-28	S	22,0	8,6	430	35,0	6,5	2,8	41,0	36,0	56,0	92,0	88,0
		5,0	19,5	7,7	430	34,0	6,4	2,5	40,0	35,0	56,0	93,0	92,4
Saint-Denis	80-07-07	S	19,0	7,4	120	6,0	0,8	0,4	15,0	6,0	26,0	8,0	7,9
		15,0	4,0	7,1	130	6,0	0,9	0,4	16,5	7,0	28,0	8,0	7,9
Saint-Louis	80-07-22	S	21,0	6,7	85	5,3	1,0	0,5	8,1	6,0	16,0	7,0	7,0
		13,0	11,0	6,3	90	5,5	1,0	0,5	7,4	6,0	14,0	8,0	8,0

TABLEAU 6 - DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES DES LACS ECHANTILLONNES EN 1980 EN SURFACE ET AU FOND (VALEURS EN mg/l) - (Suite)

Lac	Date d'échantillonnage	Profondeur (m)	T° (°C)	pH	Cond. (µS/cm)	Ca^{++} (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)	K^{+} (mg/l)	Na^{+} (mg/l)	SO_4^{--} (mg/l)	Cl^{-} (mg/l)	Alca (mg/l Ca CO_3)	HCO_3^{-} (mg/l)
Sainte-Marie	80-08-27	S	22,0	8,1	200	19,0	1,8	0,7	16,0	4,0	30,0	42,0	41,4
		2,0	22,0	8,1	200	19,0	1,8	0,7	16,0	4,0	30,0	41,0	40,4
A la Truite	80-06-09	S	13,6	7,3	385	20,0	4,2	0,7	41,0	8,0	100,0	18,0	17,9
		19,0	4,5	6,9	385	20,0	4,2	0,8	42,0	8,0	100,0	18,0	17,9
Vézina	80-07-23	S	22,0	6,9	45	3,8	0,6	0,9	2,6	2,0	5,0	7,0	7,0
		14,0	4,5	6,1	45	3,7	0,6	0,8	2,6	2,0	5,0	7,0	7,0
Baie des Rochers	80-09-04	S	18,5	7,3	42	5,9	0,5	0,3	0,9	1,0	1,0	14,0	13,9
		21,0	6,5	6,7	42	5,9	0,5	0,3	0,9	1,0	1,0	14,0	13,9

TABLEAU 7 - DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES DES LACS ECHANTILLONNES EN 1980 EN SURFACE ET AU FOND (VALEURS EN meq/l)

Lac	Profondeur (m)	Ca^{++} (meq/l)	Mg^{++} (meq/l)	K^{+} (meq/l)	Na^{+} (meq/l)	SO_4^{--} (meq/l)	Cl^{-} (meq/l)	HCO_3^{-} (meq/l)	cations (meq/l)	anions (meq/l)	Cond. calc. (S/cm)
André	S	0,24	0,10	0,01	0,56	0,12	0,76	0,71	0,93	1,00	303,96
	4,0	0,26	0,09	0,01	0,56	0,10	0,73	0,13	0,94	0,96	310,43
Antoine	S	0,57	0,09	0,01	1,08	0,02	1,57	0,01	1,77	1,61	218,86
D'argent	S	0,40	0,23	0,01	0,22	0,10	0,25	0,35	0,87	0,71	92,62
	15,0	0,37	0,23	0,01	0,23	0,10	0,25	0,39	0,85	0,75	92,65
Aux Barges	S	0,47	0,09	0,02	0,15	0,08	0,16	0,27	0,73	0,53	74,29
	5,0	0,47	0,09	0,02	0,15	0,08	0,19	0,27	0,73	0,55	76,47
Beaulac	S	0,47	0,12	0,01	0,27	0,06	0,36	0,32	0,88	0,75	97,43
	8,0	0,49	0,13	0,01	0,27	0,06	0,39	0,37	0,93	0,83	104,16
Beauport	S	0,44	0,13	0,01	1,00	0,12	1,29	0,19	1,59	1,61	203,59
	13,0	0,47	0,13	0,01	1,00	0,10	1,29	0,24	1,62	1,64	205,91
Brochet	S	0,52	0,19	0,04	0,43	0,14	0,56	0,37	1,19	1,08	138,41
	14,0	0,49	0,18	0,04	0,42	0,14	0,56	0,37	1,15	1,08	135,86
Brome	S	0,54	0,15	0,02	0,35	0,14	0,47	0,36	1,08	0,99	125,66
	11,0	0,59	0,16	0,02	0,36	0,14	0,47	0,44	1,14	1,02	128,90
Clément	S	1,04	0,21	0,03	2,43	0,14	2,82	0,62	3,73	3,58	454,43
	4,0	1,19	0,24	0,03	2,78	0,14	3,21	0,67	4,26	4,03	515,33
Clouthier	1,0	0,05	0,02	0,005	0,01	0,04	0,02	-	0,10	0,06	11,41
Désert	S	0,29	0,08	0,01	0,52	0,08	0,78	0,11	0,91	0,98	121,49
	4,0	0,27	0,07	0,01	0,41	0,04	0,56	0,11	0,77	0,72	93,80
2e Lac du Chafaud aux Basques	S	0,20	0,04	0,01	0,23	0,02	0,19	0,16	0,51	0,38	52,23
	15,0	0,19	0,04	0,01	0,23	0,04	0,22	0,16	0,49	0,43	55,27

TABLEAU 7 - DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES DES LACS ECHANTILLONNES EN 1980 EN SURFACE ET AU FOND (VALEURS EN meq/l) - (Suite)

Lac	Profondeur (m)	Ca^{++} (meq/l)	Mg^{++} (meq/l)	K^{+} (meq/l)	Na^{+} (meq/l)	SO_4^{--} (meq/l)	Cl^{-} (meq/l)	HCO_3^{-} (meq/l)	cations (meq/l)	anions (meq/l)	Cond. calc. (S/cm)
Des deux Truites	S	0,22	0,08	0,01	0,04	0,06	0,02	0,19	0,36	0,28	36,85
	2,0	0,22	0,08	0,01	0,04	0,06	0,02	0,19	0,36	0,28	36,66
Du milieu des Brûlés	S	0,20	0,06	0,001	0,03	0,04	0,05	0,13	0,33	0,22	32,31
	1,0	0,20	0,06	0,001	0,03	0,04	0,05	0,13	0,33	0,22	32,31
Dufour	S	0,38	0,07	0,01	0,65	0,04	0,96	0,22	1,10	1,17	141,92
	11,0	0,43	0,08	0,01	0,76	0,02	1,12	0,22	1,28	1,37	167,59
Dufresne	S	0,15	0,04	0,01	0,31	0,10	0,42	0,11	0,52	0,57	71,35
	11,0	0,16	0,05	0,01	0,31	0,10	0,42	0,11	0,52	0,57	72,81
Dumoulin	S	0,69	0,12	0,02	1,04	0,18	1,24	0,40	1,88	1,83	230,54
	28,0	0,72	0,13	0,02	1,13	0,16	1,35	0,52	2,01	1,94	245,03
Ennis	S	0,33	0,05	0,01	0,33	0,02	0,39	0,29	0,73	0,67	84,00
	10,0	0,37	0,05	0,01	0,31	0,02	0,39	0,22	0,70	0,64	81,07
Jolicoeur	S	0,77	0,09	0,01	0,33	0,10	0,50	0,43	1,21	1,04	135,74
	1,0	0,79	0,09	0,01	0,33	0,08	0,50	0,37	1,24	1,01	134,99
Lovering	S	0,32	0,29	0,03	0,06	0,16	0,05	0,32	0,60	0,53	69,02
	21,0	0,32	0,29	0,03	0,05	0,19	0,05	0,36	0,59	0,57	62,07
Ludger	S	0,17	0,07	0,01	0,17	0,10	0,19	0,11	0,43	0,41	52,55
	14,0	0,19	0,07	0,01	0,20	0,10	0,25	0,11	0,48	0,47	59,37
Magog	S	0,77	0,29	0,03	0,29	0,18	0,28	0,78	1,46	1,25	153,91
	14,0	0,82	0,26	0,03	0,33	0,12	0,25	0,81	1,45	1,19	148,56
Méduse	1,0	0,89	0,31	0,01	1,69	0,16	2,59	0,28	2,91	3,03	381,75
Millette	S	0,62	0,21	0,02	1,69	0,18	1,89	0,29	2,46	2,37	303,96
	4,0	0,62	0,21	0,02	1,65	0,18	1,97	0,29	2,48	2,45	310,43

TABLEAU 7 - DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES DES LACS ECHANTILLONNES EN 1980 EN SURFACE ET AU FOND (VALEURS EN meq/l) - (Suite)

Lac	Profondeur (m)	Ca^{++} (meq/l)	Mg^{++} (meq/l)	K^{+} (meq/l)	Na^{+} (meq/l)	SO_4^{--} (meq/l)	Cl^{-} (meq/l)	HCO_3^{-} (meq/l)	cations (meq/l)	anions (meq/l)	Cond. calc. (S/cm)
Orford	S	0,40	0,40	0,01	1,08	0,16	1,29	0,43	1,90	1,90	233,15
	30,0	0,39	0,40	0,01	1,08	0,16	1,29	0,40	1,89	1,87	231,44
Paquin	S	0,30	0,09	0,01	0,73	0,10	0,78	0,11	1,14	1,00	135,23
	19,0	0,40	0,11	0,01	1,00	0,10	1,18	0,09	1,53	1,38	185,12
Parker	S	0,42	0,17	0,01	0,03	0,10	0,05	0,29	0,63	0,45	62,58
	8,0	0,42	0,17	0,01	0,03	0,06	0,05	0,44	0,64	0,56	66,19
Pauzé	S	0,39	0,13	0,01	0,60	0,14	0,87	0,21	1,15	1,23	150,31
	15,0	0,57	0,21	0,01	0,95	0,10	1,32	0,34	1,75	1,77	219,86
À Pitre	S	0,48	0,09	0,01	1,13	0,02	1,07	0,39	1,72	1,48	193,58
	15,0	0,49	0,09	0,01	1,13	0,02	1,12	0,39	1,74	1,54	198,76
Du Portage	S	0,29	0,08	0,01	0,78	0,04	0,95	0,19	1,18	1,19	148,32
	6,0	0,29	0,08	0,01	0,78	0,04	0,95	0,19	1,18	1,19	148,33
Robert	S	0,25	0,10	0,01	0,67	0,08	0,84	0,11	1,05	1,04	132,71
	2,0	0,25	0,10	0,01	0,65	0,02	0,84	0,11	1,03	0,98	126,90
Roxton Pond	S	0,57	0,15	0,03	0,13	0,14	0,14	0,40	0,90	0,69	92,47
	5,0	0,54	0,15	0,03	0,13	0,14	0,14	0,42	0,87	0,71	91,95
Saguay	S	0,24	0,05	0,01	0,21	0,06	0,28	0,09	0,53	0,44	61,01
	10,0	0,24	0,05	0,01	0,20	0,06	0,22	0,09	0,52	0,38	55,83
Saint-Augustin	S	1,74	0,53	0,07	1,78	0,74	1,57	1,44	4,13	3,77	473,25
	5,0	1,69	0,52	0,06	1,74	0,72	1,57	1,51	4,02	3,82	468,62
Saint-Denis	S	0,29	0,06	0,01	0,65	0,12	0,73	0,13	1,10	1,06	127,01
	15,0	0,29	0,07	0,01	0,71	0,14	0,78	0,13	1,02	0,98	136,73

TABLEAU 7 - DONNEES PHYSICO-CHIMIQUES DES LACS ECHANTILLONNES EN 1980 EN SURFACE ET AU FOND (VALEURS EN meq/l) - (Suite)

Lac	Profondeur (m)	Ca^{++} (meq/l)	Mg^{++} (meq/l)	K^{+} (meq/l)	Na^{+} (meq/l)	SO_4^{--} (meq/l)	Cl^{-} (meq/l)	HCO_3^{-} (meq/l)	cations (meq/l)	anions (meq/l)	Cond. calc. (S/cm)
Saint-Louis	S	0,26	0,08	0,01	0,35	0,12	0,45	0,11	0,71	0,69	88,51
	13,0	0,27	0,08	0,01	0,32	0,12	0,39	0,13	0,69	0,65	83,99
Sainte-Marie	S	0,94	0,14	0,01	0,69	0,08	0,84	0,67	1,81	1,60	202,54
	2,0	0,94	0,14	0,01	0,69	0,08	0,84	1,66	1,81	1,59	201,82
À la Truite	S	0,99	0,34	0,01	1,78	0,16	2,82	0,29	3,14	3,28	411,27
	19,0	0,99	0,34	0,02	1,82	0,16	2,82	0,29	3,19	3,28	413,68
Vézina	S	0,17	0,04	0,02	0,11	0,04	0,14	0,11	0,36	0,29	39,97
	14,0	0,18	0,04	0,02	0,11	0,04	0,14	0,11	0,36	0,29	40,09
Baie des Rochers	S	0,29	0,04	0,01	0,03	0,04	0,02	0,22	0,38	0,29	38,00
	21,0	0,29	0,04	0,01	0,03	0,02	0,02	0,22	0,38	0,27	36,34

TABLEAU 8 - VALEURS DU DESEQUILIBRE IONIQUE (DI) ET DE L'ECART DE CONDUCTIVITE (EC)

LAC	PROFONDEUR (m)	DI (%)	EC (%)
André	S	4,0	7,47
	4,0	2,0	5,35
Antoine	S	6,0	1,8
D'argent	S	14,0	7,3
	15,0	9,0	11,7
Aux Barges	S	23,0	7,1
	5,0	19,0	10,0
Beaulac	S	11,0	7,2
	8,0	7,0	0,8
Beauport	S	1,0	7,15
	13,0	1,0	2,95
Brochet	S	7,0	2,53
	14,0	4,0	0,64
Brome	S	6,0	4,72
	11,0	7,0	7,42
Clément	S	3,0	4,47
	4,0	4,0	7,36
Désert	S	5,0	5,64
	2,0	5,0	4,22
2e Lac du Chafaud aux Basques	S	20,0	15,75
	15,0	10,0	13,64
Des deux truites	S	17,0	3,03
	2,0	16,0	3,52
Du milieu des Brûlés	S	26,0	10,24
	1,0	27,0	10,24
Dufour	S	4,0	2,10
	11,0	4,0	5,40
Dufresne	S	5,0	6,50
	11,0	2,0	8,67

TABLEAU 8 - (Suite)

LAC	PROFONDEUR (m)	DI (?)	EI (?)
Duhamel	S	2,0	4,79
	28,0	2,0	4,27
Ennis	S	5,0	2,32
	10,0	6,0	1,14
Jolicoeur	S	10,0	3,05
	1,0	14,0	3,58
Lovering	S	6,0	6,49
	21,0	9,0	0,12
Ludger	S	3,0	1,06
	13,0	1,0	4,17
Magog	S	10,0	6,88
	14,0	14,0	3,17
Méduse	1,0	3,0	4,59
Millette	S	3,0	4,81
	4,0	0,0	7,04
Ortord	S	0,0	0,63
	30,0	1,0	0,79
Paquin	S	9,0	3,30
	19,0	7,0	0,07
Parker	S	24,0	4,30
	8,0	9,0	5,45
Pauzé	S	5,0	0,20
	15,0	1,0	2,26
À Pitre	S	10,0	0,24
	5,0	8,0	3,04
Du Portage	S	1,0	1,59
	6,0	1,0	0,22
Robert	S	1,0	2,09
	2,0	4,0	2,39
Roxton Pond	S	18,0	2,75
	5,0	14,0	2,16

TABLEAU 8 - (Suite)

LAC	PROFONDEUR (m)	DI (%)	EC (%)
Saguay	S	14,0	6,14
	10,0	21,0	14,11
Saint-Augustin	S	6,0	10,06
	5,0	3,0	8,98
Saint-Denis	S	3,0	5,84
	15,0	2,0	5,18
Saint-Louis	S	2,0	4,13
	13,0	4,0	6,67
Sainte-Marie	S	8,0	1,27
	2,0	9,0	0,91
A la Truite	S	3,0	6,82
	19,0	2,0	7,45
Vézina	S	14,0	11,17
	14,0	15,0	10,92
Baie des Rochers	S	17,0	9,53
	21,0	22,0	13,47

ANNEXE 2

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS D'ANALYSE D'EAU

L'examen des données brutes (valeurs en mg/l) montre qu'il n'y a pas d'augmentation significative de la concentration du calcium (Ca^{++}), du magnésium (Mg^{++}), de potassium (K^{+}), de sodium (Na^{+}) et de chlorures (Cl^{-}) avec une augmentation de la profondeur pour l'ensemble des lacs étudiés. On remarque aussi une augmentation de la conductivité correspondant à une augmentation de la concentration de chlorures et de sodium.

Les coefficients de corrélation de Pearson obtenus (tableau 6) entre le calcium, le sodium, le magnésium, le potassium, les chlorures et la conductivité montrent que l'augmentation de la teneur en chlorures et en sodium influence le plus l'augmentation de la conductivité. En effet, des coefficients de 0,93 et 0,96 pour les chlorures et le sodium nous montrent qu'il existe une relation presque linéaire entre la conductivité et ces deux paramètres. On remarque aussi que le calcium influence de façon significative la conductivité ($r = 0,84$). L'examen des figures 4 à 7 illustre bien ce phénomène. En effectuant une régression multiple, nous avons évalué que 99% de la variabilité de la conductivité est expliquée par le sodium et le calcium, le sodium expliquant à lui seul 93%.

Les coefficients de corrélation de Pearson obtenus entre les chlorures et les autres ions (Ca^{++}, Na^{+}, Mg^{++}, K^{+}, SO_4^{--}, HCO_3^{-}) montrent que le sodium est l'ion qui est le plus relié aux chlorures ($R - 0,97$), les autres ions ayant une relation faible (r variant de 0,33 à 0,63). L'examen du graphique de la concentration de chlorures en fonction de la concentration de sodium (figure 8) permet de mettre en évidence l'augmentation presque linéaire des chlorures et du sodium. La droite d'estimation obtenue montre que les chlorures et le sodium sont en abondance presque identique dans l'eau, la pente de la droite étant de 1,21. C'est donc dire que les chlorures et le sodium en provenance de la route, parviennent au lac en quantité presque équivalente.

En l'absence d'infiltration de chlorures de sodium, les rapports moyens entre les concentrations (mg/l) de sodium et de calcium, de magnésium et de calcium, de potassium et de calcium sont les suivants:

Na^+/Ca^{++} = 0,20

Mg^{++}/Ca^{++} = 0,20

K^+/Ca^{++} = 0,13

Dans une étude sur la qualité de l'eau de 251 lacs du Québec, Legendre et al (1979) ont remarqué qu'il y avait une augmentation du rapport Na^+/Ca^{++} lorsqu'il y a infiltration de chlorures de sodium.

Ils ont remarqué que, lorsque le rapport Na^+/Ca^{++} était supérieur à 0,55, il y avait une concentration importante de chlorures dans les lacs.

Dans notre cas, on remarque que pour 31 des 40 lacs étudiés où il y a une concentration élevée de chlorures, le rapport varie de 0,62 à 3,04. Pour les 6 lacs témoins étudiés, le rapport varie de 0,09 à 0,30. (tableau 7) On constate que 3 lacs seulement, où il y a une infiltration des chlorures, présentent un rapport inférieur à 0,55.

En ce qui concerne les rapports Mg^{++}/Ca^{++} et K^+/Ca^{++}, nous n'observons pas d'augmentation ou de diminution significative (tableau 7) pour les lacs où il y a une concentration élevée de chlorures.

L'examen des coefficients de corrélation obtenus entre les chlorures et le rapport Na^+/Ca^{++} ($r = 0,66$) et entre le sodium et le rapport Na^+/Ca^{++} ($r = 0,67$) montre qu'il n'y a pas de relation linéaire des chlorures et du sodium avec ce rapport. Les figures 9 et 10 permettent de constater que les lacs dont le rapport est plus grand que 0,55 ont une concentration de chlorures supérieure à 10 mg/l dans la majorité des cas. L'absence d'une relation linéaire entre l'augmentation de la concentration de chlorures et de sodium et l'augmentation du rapport Na^+/Ca^{++} peut s'expliquer par la variation de la concentration naturelle de calcium dans les lacs.

Les valeurs des coefficients de corrélation de Pearson obtenus entre les différents ions ainsi que les valeurs des rapports Na^+/Ca^{++}, Mg^{++}/Ca^{++}, K^+/Ca^{++}, démontrent que l'épandage de chlorures de sodium (Na Cl) sur les routes situées en bordure des lacs ne semble pas entraîner d'augmentation de la concentration des cations et des anions autres que ceux des chlorures et du sodium dans les lacs.

TABLEAU 9 - COEFFICIENTS DE CORRELATION DE PEARSON OBTENUS ENTRE LES DIFFERENTS PARAMETRES ETUDIES ET SIGNIFICATIFS A p 0,01 (CONCENTRATION DES IONS EXPRIMEE EN meq/l)

	Co	Ca^{++}	Mg^{++}	K^{+}	Na^{+}	SO_4^{--}	Cl^{-}	Al
Ca^{++}	0,84							
Mg^{++}	0,69	0,71						
K^{+}	0,56	0,75	0,60					
Na^{+}	0,96	0,69	0,55	0,44				
SO_4^{--}	0,59	0,73	0,76	0,76	0,45			
Cl^{-}	0,93	0,63	0,50	0,33	0,97	0,34		
AL	0,58	0,87	0,73	0,78	0,40	N.S.	N.S.	
pH	0,30	0,47	0,34	N.S.	N.S.	0,36	N.S.	0,52

N.S. Non significatif

Co Conductivité

AL Alcalinité

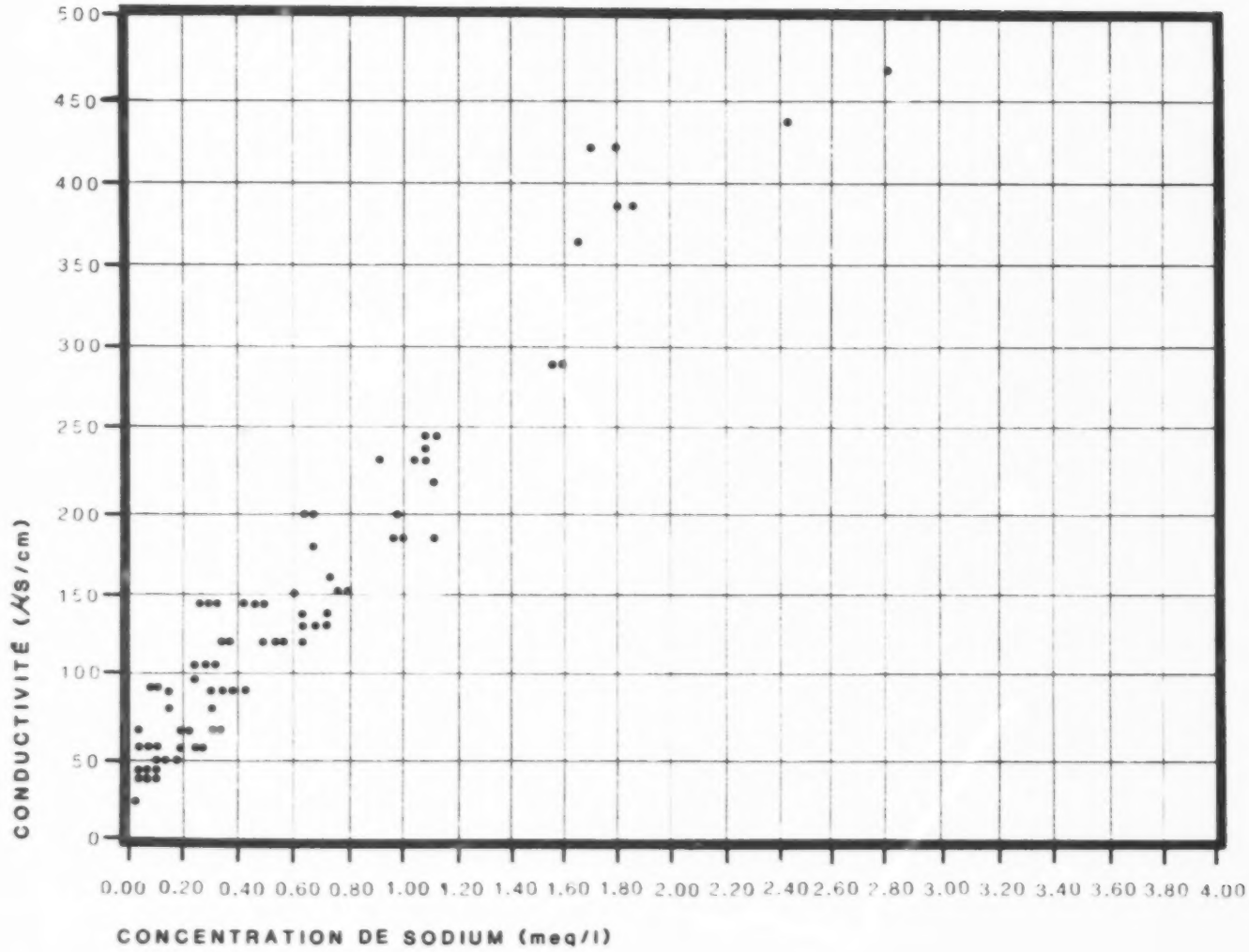

FIGURE 4 : GRAPHIQUE DE LA CONDUCTIVITE (µs/cm) EN FONCTION DE LA CONCENTRATION DE SODIUM (meq / l)

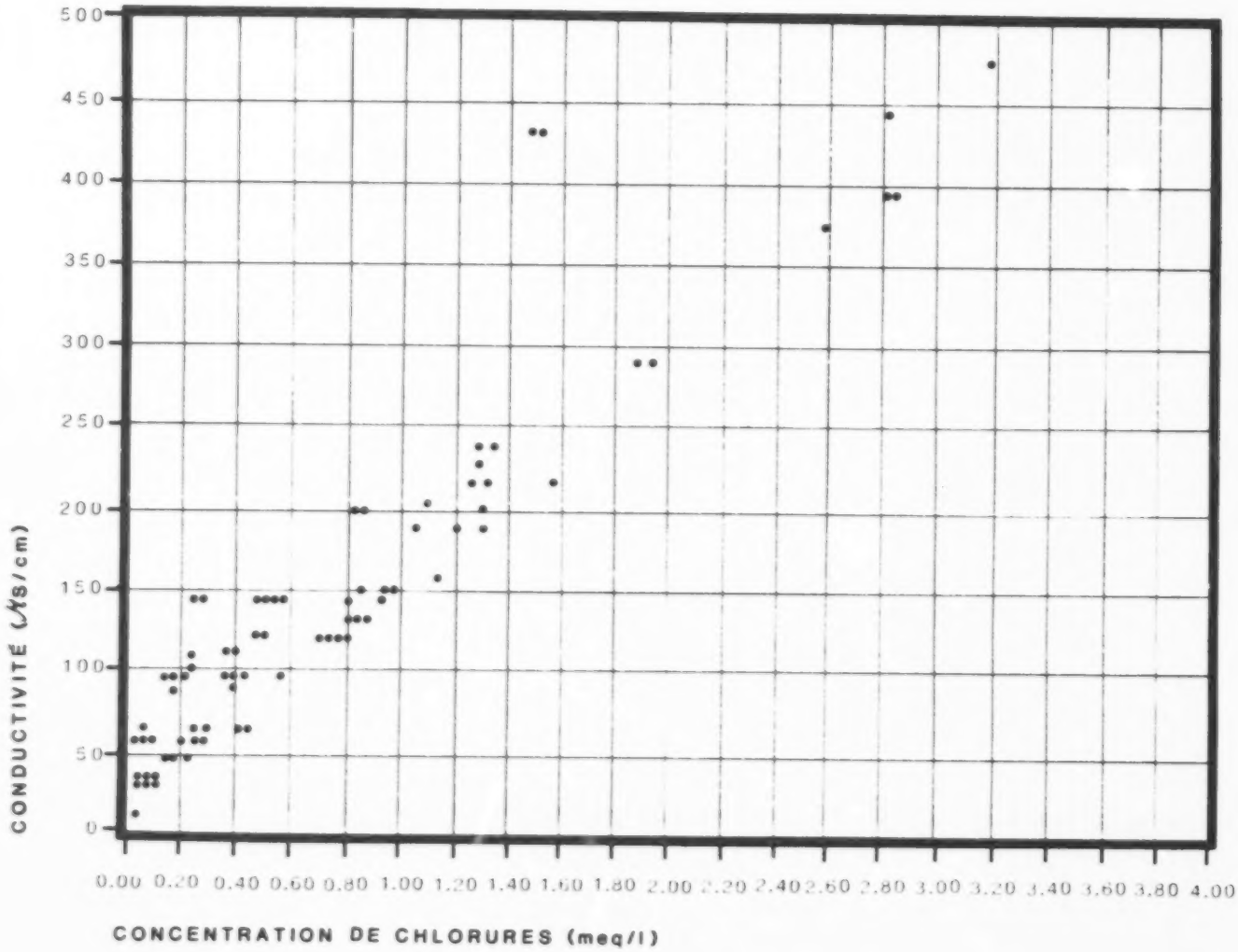

FIGURE 5 : GRAPHIQUE DE LA CONDUCTIVITE (μs/cm) EN FONCTION DE LA CONCENTRATION DE CHLORURES (meq/ l) .

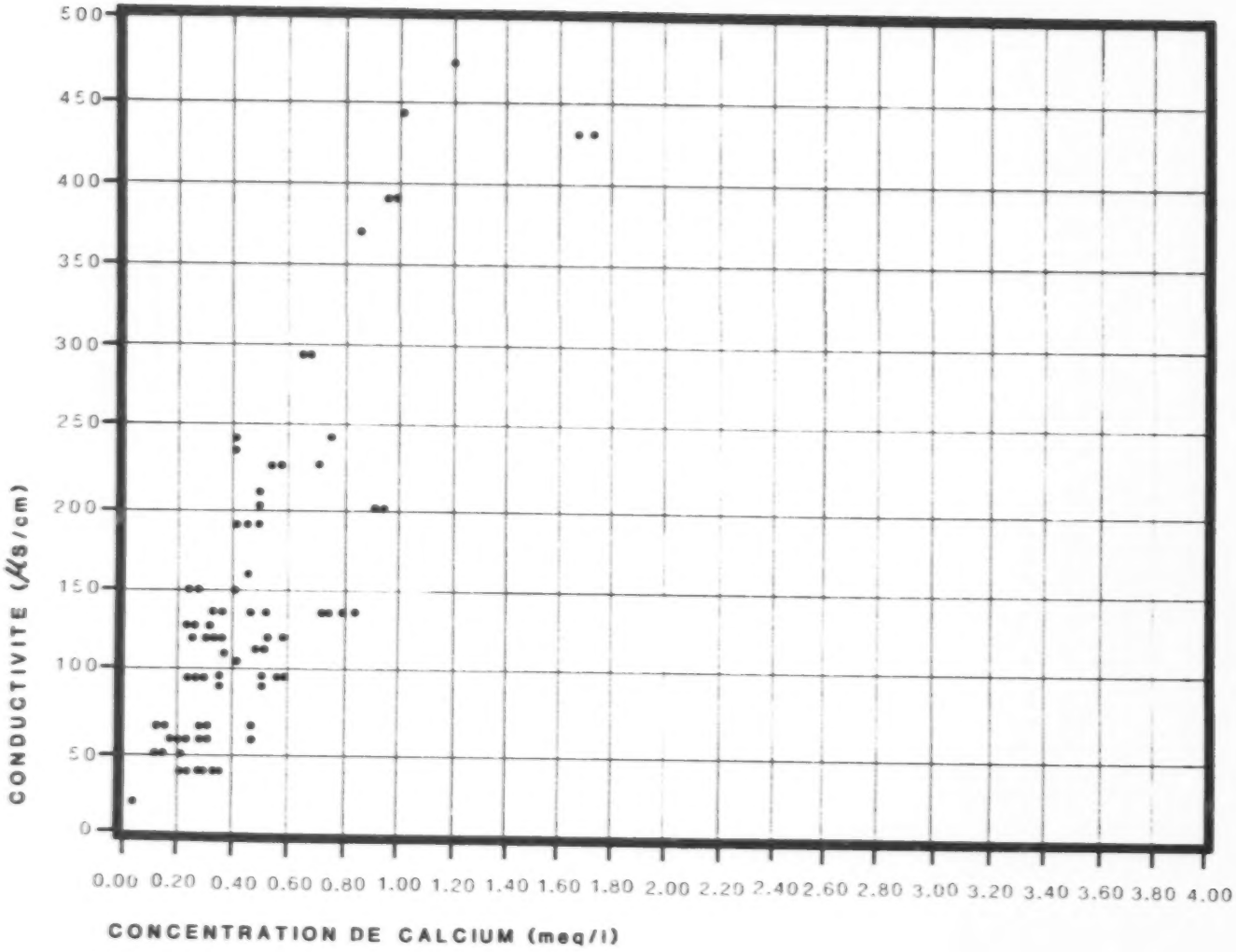

FIGURE 6: GRAPHIQUE DE LA CONDUCTIVITE (µs/cm) EN FONCTION DE LA CONCENTRATION DE CALCIUM (meq/l)

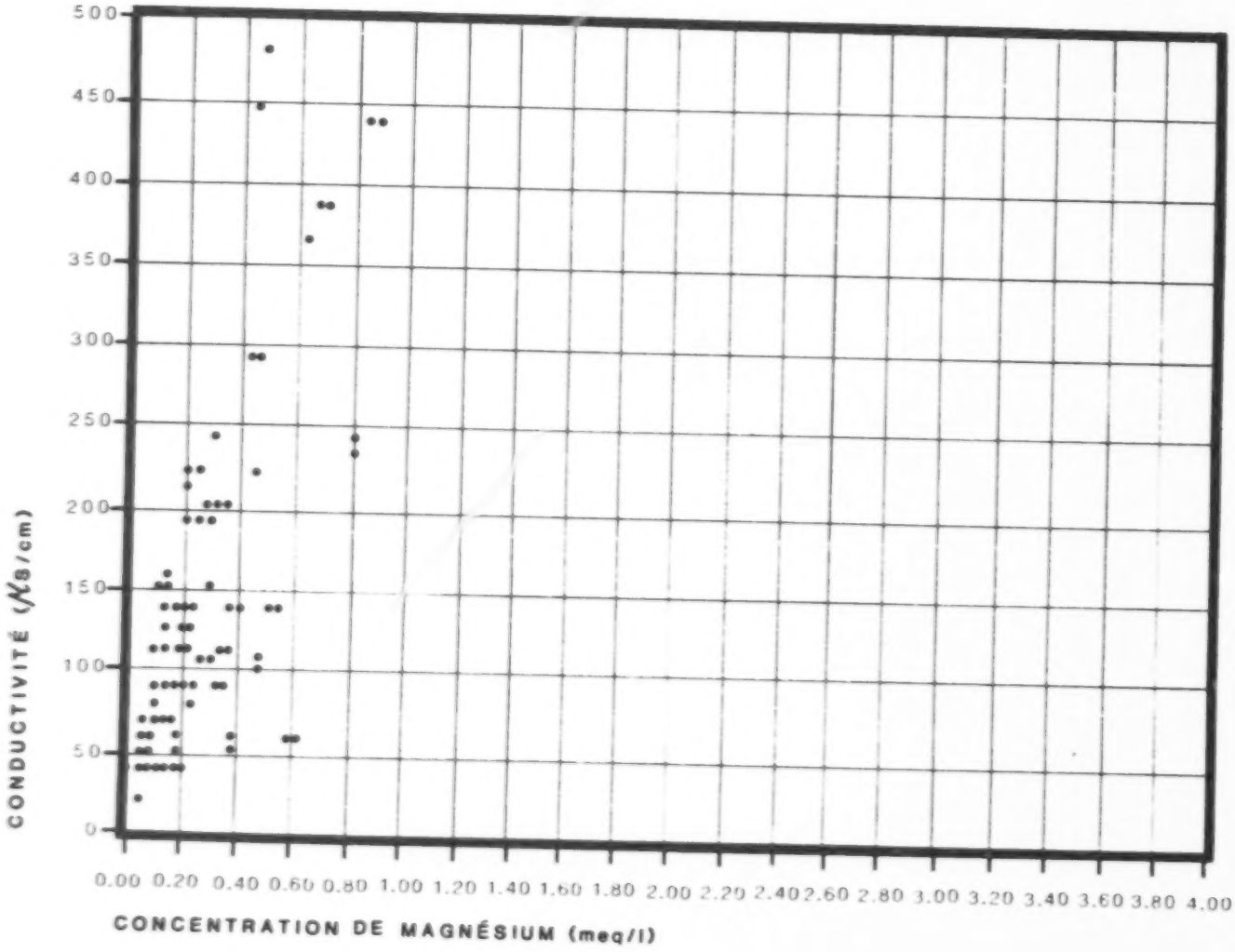

FIGURE 7 : GRAPHIQUE DE LA CONDUCTIVITE (µs/cm) EN FONCTION DE LA CONCENTRATION DE MAGNESIUM (meq/l) .

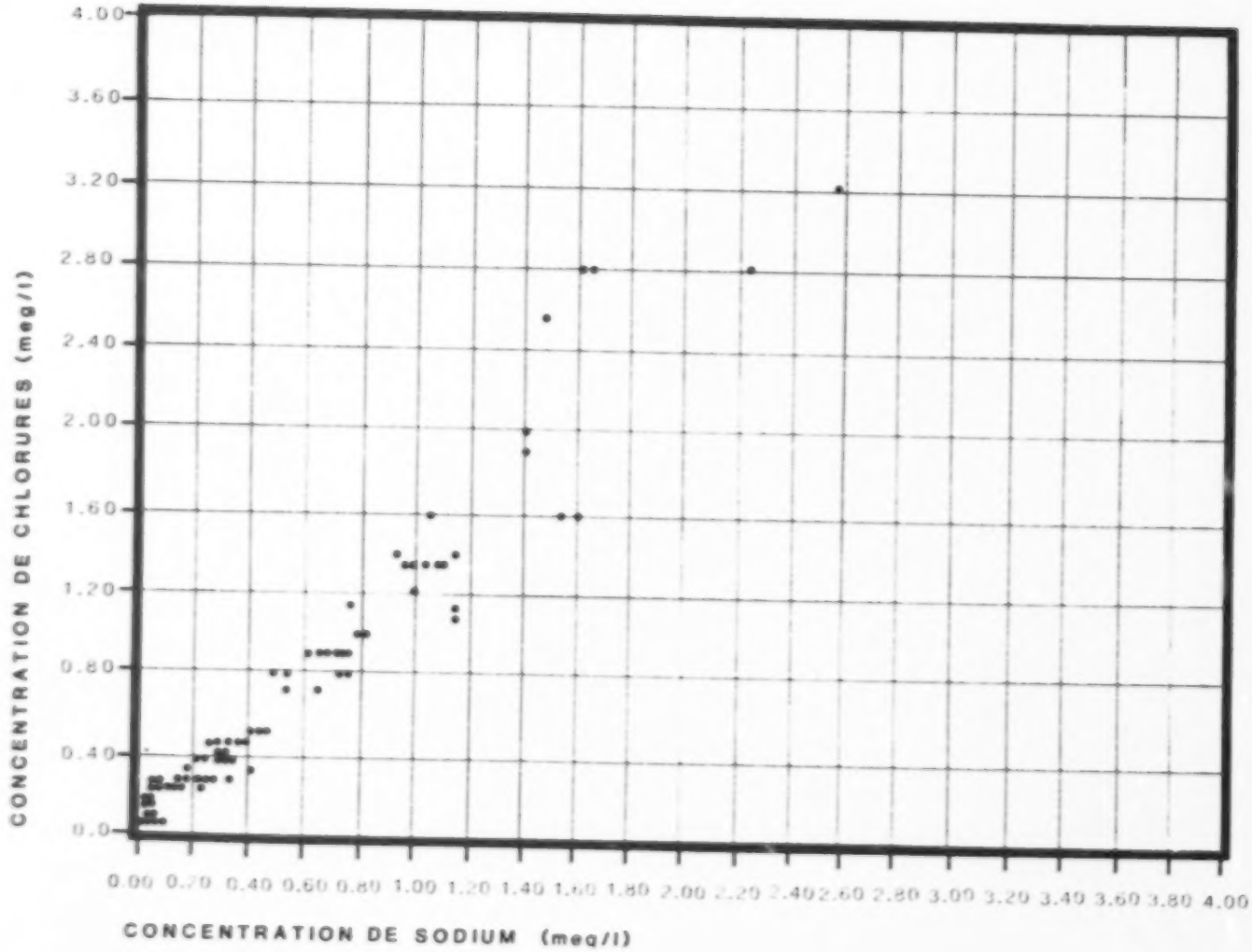

FIGURE 8 : GRAPHIQUE DE LA CONCENTRATION DE CHLORURES (meq/l) EN FONCTION DE LA CONCENTRATION DE SODIUM (meq/ l).

TABLEAU 10 - VALEURS DES RAPPORTS ENTRE LE SODIUM, LE MAGNESIUM, LE POTASSIUM ET LE CALCIUM (VALEURS DES CATIONS EXPRIMEES mg/l) A LA SURFACE DU LAC.

Lac	Na^{+}/Ca^{++}	Mg^{++}/Ca^{++}	K^{+}/Ca^{++}
André	2,60	0,26	0,12
Antoine	2,17	0,10	0,06
D'argent	0,62	0,35	0,04
Aux Barges	0,37	0,12	0,08
Beaulac	0,67	0,16	0,05
Beauport	2,56	0,18	0,08
Brochet	0,95	0,23	0,16
Brome	0,74	0,17	0,10
Clément	2,67	0,12	0,06
Clouthier	0,25	0,25	0,17
Désert	2,00	0,17	0,07
2e Lac du Chafaud aux Basques	1,31	0,14	0,12
Des deux Truites	0,24	0,22	0,09
Dufour	2,05	0,12	0,05
Dufresne	2,25	0,19	0,09
Duhamel	1,71	0,11	0,06
Ennis	1,13	0,10	0,06
Jolicoeur	0,49	0,08	0,04
Lovering	0,30	0,78	0,15
Ludger	1,11	0,25	0,08
Magog	0,58	0,21	0,08
Méduse	2,17	0,21	0,04
Millette	2,96	0,21	0,06
Orford	3,09	0,60	0,05
Pagnin	2,74	0,18	0,06
Parker	0,09	0,25	0,04
Pauzé	1,91	0,23	0,04
À Pitre	2,68	0,12	0,06
Du Portage	3,00	0,17	0,10

TABLEAU 10 - (Suite)

Lac	Na^+/Ca^{++}	Mg^{++}/Ca^{++}	K^+/Ca^{++}
Robert	3,04	0,25	0,14
Roxton Pond	0,28	0,17	0,10
Saguay	1,00	0,14	0,12
Saint-Augustin	1,17	0,19	0,08
Saint-Denis	2,50	0,13	0,07
Saint-Louis	1,53	0,19	0,09
Sainte-Marie	0,84	0,09	0,04
A la Truite	2,05	0,21	0,03
Vézina	0,72	0,17	0,25
Du Milieu des Brûlés	0,29	0,19	0,02
Baie des Rochers	0,13	0,08	0,05

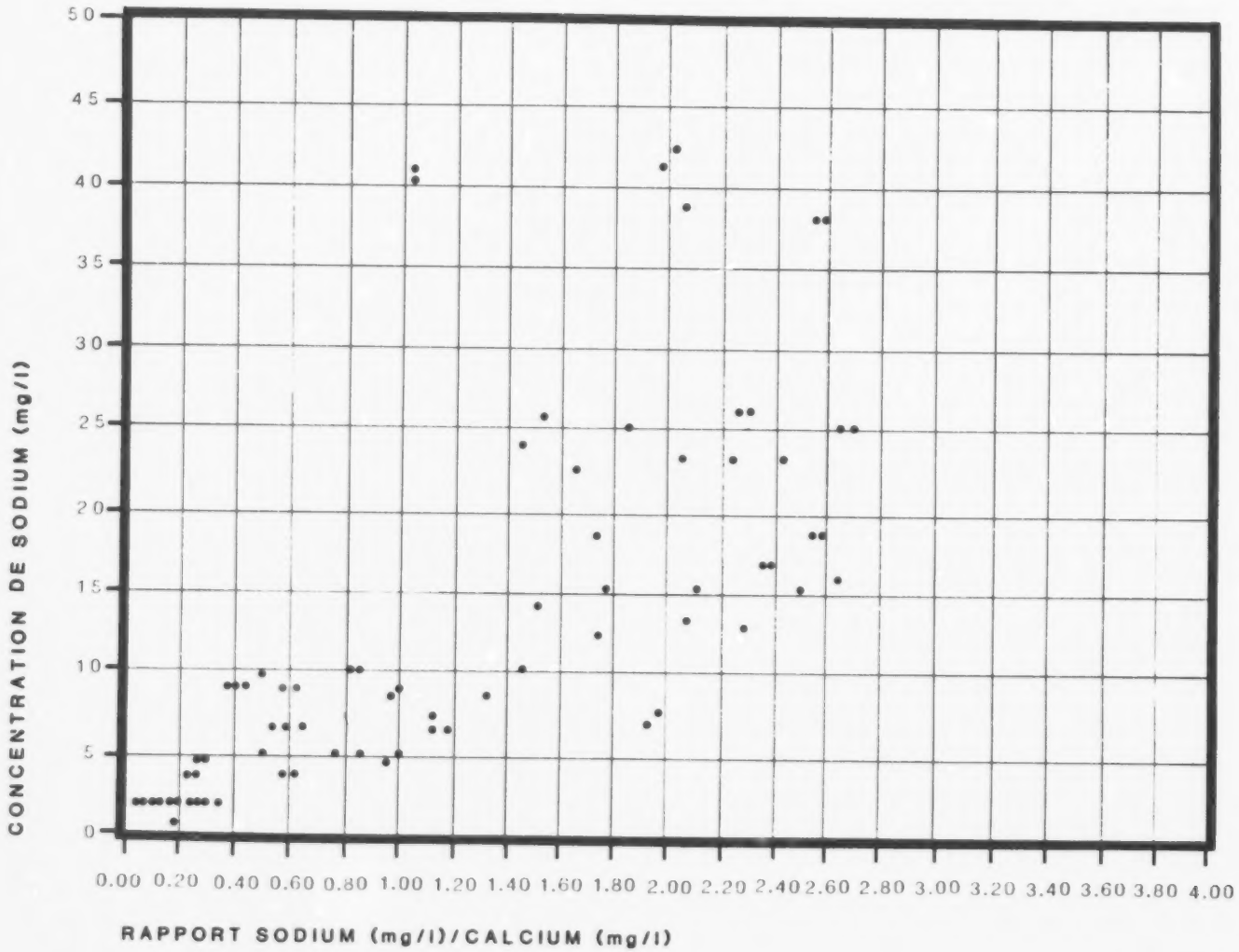

FIGURE 9 : GRAPHIQUE DE LA CONCENTRATION DE SODIUM (mg/l) EN FONCTION DU RAPPORT SODIUM (mg/l) / CALCIUM (mg/l) .

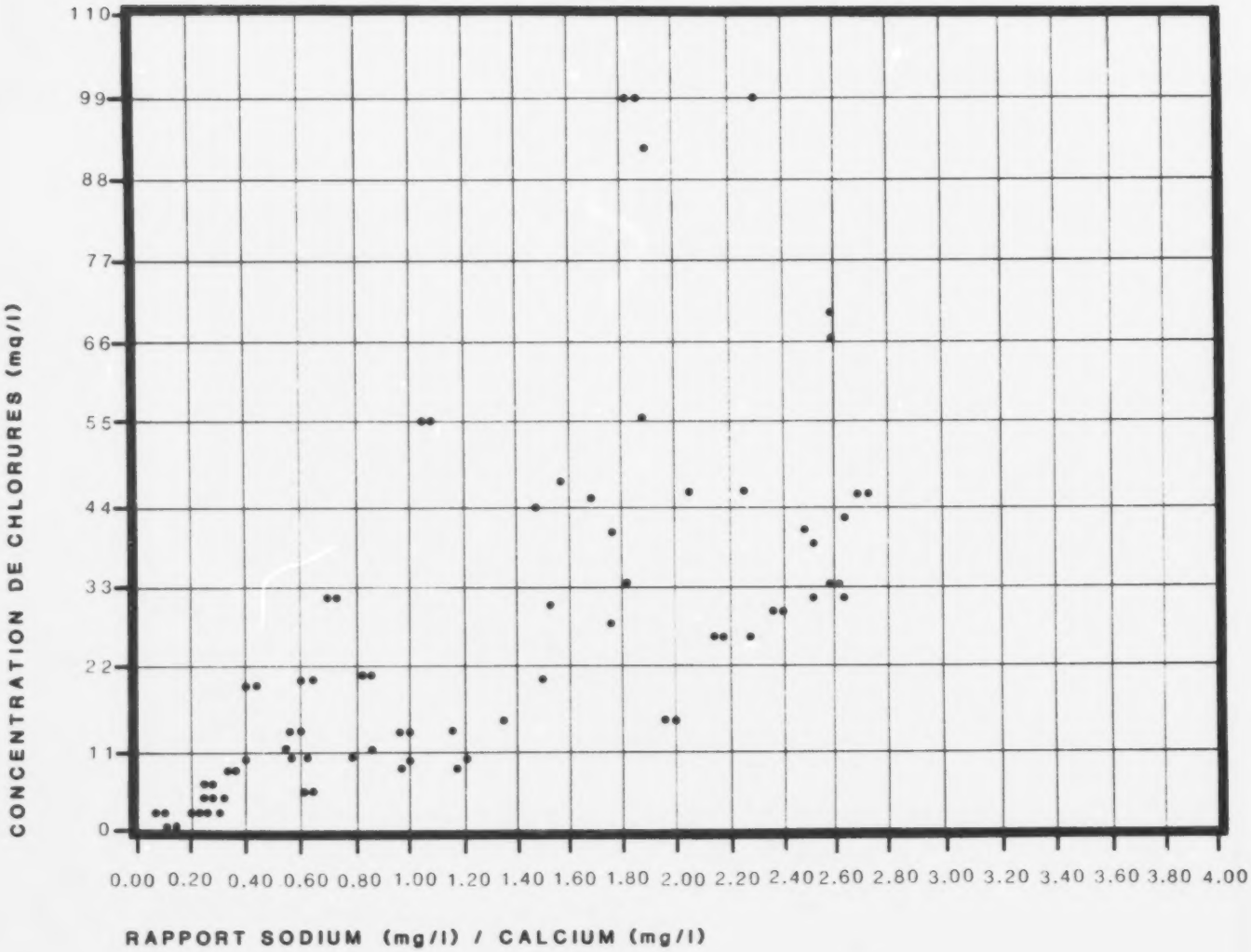

FIGURE 10 : GRAPHIQUE DE LA CONCENTRATION DE CHLORURES (mg/l) EN FONCTION DU RAPPORT SODIUM (mg/l) / CALCIUM (mg/l) .

ANNEXE 3

TABLEAU 11 - QUANTITE DE SEL EPANDU SUR LES ROUTES SITUEES AUX ABORDS DES LACS ET QUANTITE DE CHLORURES EN PROVENANCE D'UN AUTRE LAC

Lac	Route #	Sel (NaCl)* (t/km/ans)	Chlorures (Cl^-) (t/km/ans)	Longueur de route drainée (km)	Apport en chlorures par un autre lac (t/ans)
André	132	23	13,66	1,0	
D'argent	112	18	10,75	0,8	510,0
	A-10	127	78,00	2,3	
Aux Barges	117	37	22,32	2,0	
Beaulac	335	14	8,38	3,5	
Brochet	117	37	22,32	1,2	
Brome	215	15	9,05	6,0	
	243	15	9,05	14,5	
	243	24	14,48	12,0	
	245	24	14,48	7,0	
	112	18	10,75	7,0	
	A-10	129	78,00	10,0	
Désert	125	25	15,30	3,0	
2e Lac du Chafaud aux Basques	138	45	27,08	1,4	
Dufour	138	45	27,08	0,8	
Dufresne	329	17	10,02	3,0	
Duhamel	117	20	12,00	2,6	
Ennis	138	45	27,08	1,8	
Lalger	329	17	10,34	2,5	111,3

TABLEAU 11 - QUANTITE DE SEL EPANDU SUR LES ROUTES SITUEES AUX ABORDS DES LACS ET QUANTITE DE CHLORURES EN PROVENANCE D'UN AUTRE LAC - (Suite)

Lac	Route *	Sel (NaCl)* (t/km/ans)	Chlorures (Cl^-) (t/km/ans)	Longueur de route drainée (km)	Apport en chlorures par un autre lac (t/ans)
Magog	112	32	19,61	5,1	
	216	2,6	1,58	5,4	
	-	2,6	1,58	5,8	
	108	2,2	1,34	2,8	16 400,0
Méduse					489,8
Millette	117	18	11,12	2,4	
	A-15	262	158,00	0,8	
Orford	112	26	15,46	2,4	
	A-10	129	78,00	4,5	
Pauzé	125	28	16,96	2,6	
	Boul. Pauzé	14	8,47	2,8	
À Pitre	138	45	27,08	1,5	
Du Portage	138	45	27,08	1,0	
Robert	131	23	13,66	1,6	
Roxton Pond	139	16	9,73	6,0	
Saint-Denis	329	34	21,00	1,1	
Saint-Louis	131	23	13,66	4,0	
Sainte-Marie	138	52	31,37	5,0	
À la Truite	A-15	262	158,00	3,1	

* NaCl épandu sur la route et NaCl présent dans le sable épandu sur la route (37).

TABLEAU 12 - DONNEES MORPHOMETRIQUES NECESSAIRES POUR LE CALCUL DE LA CONCENTRATION D'EQUILIBRE ET DU TEMPS DE REPONSE - (Suite)

Lac	V ($X10^6 m^3$)	S (km^2)	L (km)	L.M. (km)	T (%)	Z (m)	S.B. (km^2)	D.S. (m^3/sec par km^2)	M.E. (m^3/sec)	To (jours)
Pauzé	0,930	0,223	-	-	-	4,66	6,10	0,018	0,109	99
À Pitre	0,892	0,060	0,660	0,110	20,50	14,88	1,80	0,022	0,039	267
Du Portage	0,147	0,011	0,600	0,180	20,90	13,37	1,30	0,022	0,028	61
Robert	0,190	0,042	0,500	0,086	8,80	4,54	3,80	0,017	0,040	35
Roxton Pond	5,600	1,79	-	-	-	3,13	17,40	-	0,320	201
Saint-Denis	4,070	0,512	-	-	-	7,95	7,60	0,017	0,129	364
Saint-Louis	3,970	0,665	-	-	-	5,96	16,90	0,017	0,287	160
Sainte-Marie	6,580	0,514	1,280	0,387	13,92	7,07	7,76	0,022	0,170	448
À la Truite	4,930	0,551	-	-	-	8,94	4,20	0,018	0,075	752

V = Volume du lac

S = Superficie du lac

L = Longueur maximale du lac

L.M.= Largeur moyenne du lac

T = Pente moyenne sur le pourtour du lac

Z = Profondeur moyenne du lac

S.B.= Superficie du bassin hydrographique du lac

D.S.= Débit spécifique

M.E.= Débit de l'émissaire du lac

To = Temps de renouvellement

TABLEAU 12 - DONNEES MORPHOMETRIQUES NECESSAIRES POUR LE CALCUL DE LA CONCENTRATION D'EQUILIBRE ET DU TEMPS DE REPONSE

Lac	V ($X10^6 m^3$)	S (km^2)	L (km)	L.M. (km)	T (°)	Z (m)	S.B. (km^2)	D.S. (m^3/sec par km^2)	M.E. (m^3/sec)	To (jours)
André	0,038	0,030	0,180	0,106	3,95	1,29	3,00	0,017	0,026	9
D'Argent	4,510	0,980	-	-	-	4,60	66,73	-	2,380	18
Aux Basques	2,568	0,769	1,360	0,593	7,40	6,05	9,11	0,017	0,154	350
Beaulac	4,440	0,863	-	-	-	5,14	6,00	0,017	0,102	504
Brochet	2,350	0,306	1,100	0,266	3,10	7,67	2,30	0,017	0,040	695
Brome	8,420	14,200	-	-	-	5,92	200,12	-	3,760	255
Désert	0,125	0,113	0,620	0,213	2,70	1,11	6,40	0,018	0,115	12
2e Lac du Chafaud aux Basques	3,570	0,328	1,200	0,273	24,30	24,63	2,00	0,022	0,044	-
Dufour	0,309	0,098	0,500	0,193	6,14	3,16	0,90	0,022	0,020	179
Dufresnes	6,720	1,590	-	-	-	4,22	4,35	0,019	0,082	941
Duhamel	6,040	0,519	-	-	-	11,63	3,70	0,018	0,066	1047
Ennis	0,420	0,119	0,800	0,180	6,21	3,53	4,70	0,022	0,103	47
Ludger	7,820	1,550	-	-	-	5,04	39,10	0,018	0,703	128
Magog	105,300	10,800	-	-	-	9,75	174,32	-	52,080	22
Méduse	0,221	0,053	0,360	0,180	8,30	4,21	6,68	0,018	0,120	21
Millette	4,700	0,177	0,720	0,370	4,80	2,66	5,69	0,018	0,102	534
Orford	21 870	1,250	-	-	-	17,92	8,44	-	0,300	836